

## COMPOUND BEARING CONSTRUCTION

Patent Number: JP5106635  
Publication date: 1993-04-27  
Inventor(s): KOMURA OSAMU; others: 06  
Applicant(s): SUMITOMO ELECTRIC IND LTD  
Requested Patent: JP5106635  
Application Number: JP19910298841 19911114  
Priority Number(s):  
IPC Classification: F16C32/00; F16C17/10; F16C32/04; F16C33/24  
EC Classification:  
Equivalents: JP2973651B2

---

### Abstract

---

**PURPOSE:** To provide a compound bearing construction by which high speed rotation can be borne.

**CONSTITUTION:** This compound bearing construction is provided with a first bearing means, a second bearing means, and a third bearing means. Impulsive force in the radial direction applied on a rotor at rotation is supported by the first means, and the means is constituted of an inner ring 1 and an outer ring 2 made of silicon nitride series ceramic sintered body. Load applied on the rotor in the axial direction is supported by the second bearing means while keeping a prescribed clearance against the rotor, and it is constituted of a magnetic bearing body consisting of two permanent magnets 12, 13 mutually opposed in the thrust direction. Rotation accuracy of the rotor in the radial direction is maintained by the third bearing means, and it is constituted of radial dynamic pressure generating grooves 5 formed on the cylindrical face of the inner ring 1.

**\* NOTICES \***

**Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.**

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

---

**Bibliography**

---

(19) [Country of Issue] Japan Patent Office (JP)

(12) [Official Gazette Type] Open patent official report (A)

(11) [Publication No.] JP,5-106635,A

(43) [Date of Publication] April 27, Heisei 5 (1993)

(54) [Title of the Invention] Compound bearing structure

(51) [The 5th edition of International Patent Classification]

F16C 32/00            C 8613-3J

17/10                A 8613-3J

32/04                Z 8613-3J

33/24                A 6814-3J

[Request for Examination] Un-asking.

[The number of claims] 17

[Number of Pages] 14

(21) [Filing Number] Japanese Patent Application No. 3-298841

(22) [Filing Date] November 14, Heisei 3 (1991)

(31) [Priority Document Number] Japanese Patent Application No. 3-78005

(32) [Priority Date] Common 3 (1991) April 10

(33) [Country Declaring Priority] Japan (JP)

(31) [Priority Document Number] Japanese Patent Application No. 3-206771

(32) [Priority Date] Common 3 (1991) August 19

(33) [Country Declaring Priority] Japan (JP)

(31) [Priority Document Number] Japanese Patent Application No. 3-84904

(32) [Priority Date] Common 3 (1991) April 17

(33) [Country Declaring Priority] Japan (JP)

(71) [Applicant]

[Identification Number] 000002130

[Name] Sumitomo Electric Industries, Ltd.

[Address] 4-5-33, Kitahama, Chuo-ku, Osaka-shi, Osaka

(72) [Inventor(s)]

[Name] Small village \*\*

[Address] 1-1-1, Koya-kita, Itami-shi, Hyogo-ken Sumitomo Electric Industries Itami

Manufacture Within a station

(72) [Inventor(s)]

[Name] Katayama Tetsuya

[Address] 1-1-1, Koya-kita, Itami-shi, Hyogo-ken Sumitomo Electric Industries Itami

Manufacture Within a station

(72) [Inventor(s)]

[Name] Yasuoka \*\*\*\*

[Address] 1-1-1, Koya-kita, Itami-shi, Hyogo-ken Sumitomo Electric Industries Itami

Manufacture Within a station

(72) [Inventor(s)]

[Name] Yamakawa \*\*

[Address] 1-1-1, Koya-kita, Itami-shi, Hyogo-ken Sumitomo Electric Industries Itami

Manufacture Within a station

(72) [Inventor(s)]

[Name] Matsunuma Kenji

[Address] 1-1-1, Koya-kita, Itami-shi, Hyogo-ken Sumitomo Electric Industries Itami

Manufacture Within a station

(72) [Inventor(s)]

[Name] Higuchi Matsuo

[Address] 1-1-1, Koya-kita, Itami-shi, Hyogo-ken Sumitomo Electric Industries Itami

Manufacture Within a station

(72) [Inventor(s)]

[Name] Miyake Masaya

[Address] 1-1-1, Koya-kita, Itami-shi, Hyogo-ken Sumitomo Electric Industries Itami

Manufacture Within a station

(74) [Attorney]

[Patent Attorney]

[Name] Fukami Hisao (besides four persons)

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

**Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.**

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

---

## Epitome

---

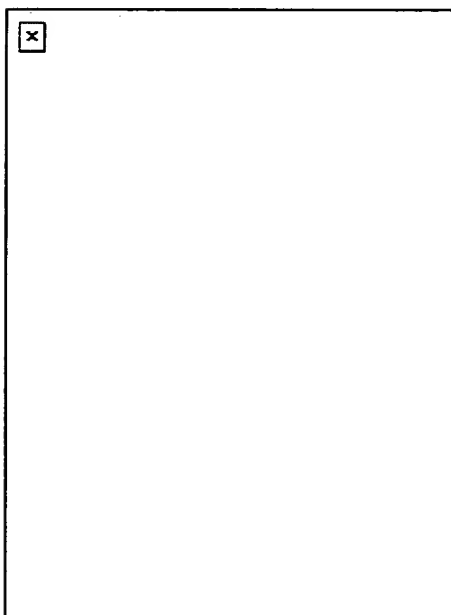
(57) [Abstract]

[Objects of the Invention] The compound bearing structure of being able to be equal to high-speed rotation is offered.

[Elements of the Invention] Compound bearing structure is equipped with the 1st bearing means, the 2nd bearing means, and the 3rd bearing means. The 1st bearing means supports during rotation impulse force of a radial direction which joins body of revolution, and consists of inner rings of spiral wound gasket 1 and outer rings of spiral wound gasket 2 which consist of a silicon nitride system ceramic sintered compact. The 2nd bearing means supports a load load of the direction of an axis which joins body of revolution, where body of revolution and a predetermined gap are maintained, and it consists of magnetic shaft acceptors of two permanent magnets 12 and 13 which counter in the thrust direction. The 3rd bearing means maintains rotation precision of a radial direction of body of revolution, and consists of radial dynamic pressure generating slots 5 formed in a cylinder side of an inner ring of spiral wound gasket 1.

---

[Translation done.]



---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

**Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.**

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

---

## CLAIMS

---

[Claim(s)]

[Claim 1] Compound [ having had the bearing means of \*\* two / supporting the bearing means of \*\* one / including a ceramic / supporting the impulse force of a radial direction / being compound / supporting predetermined body of revolution / having a load and rotating by being high-speed / bearing structure, and joining said body of revolution under rotation / sintered compact /, and the load load of the direction of an axis / joining said body of revolution /, where it maintained said body of revolution and a predetermined gap /, and the bearing means of \*\* three / maintaining the rotation precision of the radial direction of said body of revolution ] bearing structure

[Claim 2] Said ceramic sintered compact is the compound bearing structure containing a silicon nitride system ceramic sintered compact according to claim 1.

[Claim 3] For said silicon nitride system ceramic sintered compact, content of the pore is the compound bearing structure according to claim 2 where a rate of volume of the grain boundary phase is below 15 volume %, and an overall diameter contains a sintered compact of a silicon nitride system it is [ system ] 3% or less including pore 20 micrometers or less, including a crystal grain child whose linear density per length of 30 micrometers is 35 or more pieces.

[Claim 4] Said 2nd bearing means is compound bearing structure including a dynamic pressure gas bearing means to support said load load by gas pressure generated by rotation of said body of revolution according to claim 1.

[Claim 5] Said dynamic pressure gas bearing means is the compound bearing structure containing a rotation member rotated with said body of revolution, and a holddown member which maintains said gap in the direction of an axis, and counters the rotation member according to claim 4.

[Claim 6] Said rotation member and said holddown member are the compound bearing structure according to claim 5 where a slot which introduces a gas into said gap is formed in either said rotation member and said holddown member so that said gas pressure may occur, including a ceramic sintered compact.

[Claim 7] Said 2nd bearing means is compound bearing structure including a magnetic bearing means to support said load load using a magnetic suction force or magnetic repulsive force according to claim 1.

[Claim 8] Said magnetic bearing means is the compound bearing structure containing a rotation member rotated with said body of revolution, and a holddown member which maintains said gap in the direction of an axis, and counters the rotation member according to claim 7.

[Claim 9] Said rotation member and said holddown member are the compound bearing structure containing a magnet which makes said gap generate a magnetic suction force or magnetic repulsive force according to claim 8.

[Claim 10] Said 3rd bearing means is the compound bearing structure containing a ceramic sintered compact which maintains said rotation precision where said body of revolution and a predetermined gap are maintained according to claim 1.

[Claim 11] Said 3rd bearing means is compound bearing structure including a dynamic pressure gas bearing means to maintain said rotation precision by gas pressure generated by rotation of said body of revolution according to claim 1.

[Claim 12] Said dynamic pressure gas bearing means is the compound bearing structure containing a rotation member rotated with said body of revolution, and a holddown member which maintains said gap at a radial direction and counters the rotation member according to claim 11.

[Claim 13] Said rotation member and said holddown member are the compound bearing structure according to claim 12 where a slot which introduces a gas into said gap is formed in either said rotation member and said holddown member so that said gas pressure may occur, including a ceramic sintered compact.

[Claim 14] Said 3rd bearing means is compound bearing structure including a magnetic bearing means to maintain said rotation precision using a magnetic suction force or magnetic repulsive force where said body of revolution and a predetermined gap are maintained according to claim 1.

[Claim 15] Said magnetic bearing means is the compound bearing structure containing a rotation member rotated with said body of revolution, and a holddown member which maintains said gap at a radial direction and counters the rotation member according to claim 14.

[Claim 16] Said rotation member and said holddown member are the compound bearing structure containing a magnet which makes said gap generate a magnetic suction force or magnetic repulsive force according to claim 15.

[Claim 17] It is the compound bearing structure according to claim 16 where said rotation member and said holddown member consist of said ceramic sintered compact, and said magnet is embedded to the interior of said ceramic sintered compact.

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

---

## DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application] Generally this invention has a predetermined load more specifically about bearing structure, and relates to the compound bearing structure which supports the body of revolution rotated at high speed.

[0002]

[Description of the Prior Art] What can be equal to high-speed rotation is required of the member which generally constitutes the rotation mechanical component prepared in a laser beam printer, facsimile, a bar code reader, etc. For example, the rotational speed more than 20000r.p.m. has come to be required of the slewing gear of the polygon mirror (polygon mirror) in a laser beam printer with improvement in the speed of printing speed. Conventionally, the ball bearing has been used for bearing at the sliding section in this slewing gear. However, it was the rotational speed of the maximum which a 16000r.p.m. degree can bear according to problems, such as printing and wear, in the limitation which uses the conventional ball bearing.

[0003] in order to rotate the polygon mirror in a laser beam printer at high speed further -- SiC and Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> etc. -- using for the rotation sliding section the pneumatic bearing (dynamic pressure gas bearing) which consists of ceramics is proposed in JP,2-173610,A. In the slewing gear using this pneumatic bearing, rotation of body of revolution introduces air compulsorily through a slot to the path clearance between a radial bearing object or a thrust bearing object, and body of revolution at least. Thereby, the pneumatic pressure in the path clearance is raised, and body of revolution rotates at high speed through the pneumatic bearing prepared between each part material. Thus, in order to realize high-speed rotation, pneumatic bearing is used, the rotation precision under high-speed rotation is maintained, and the load load of the thrust direction which joins body of revolution is supported by pneumatic bearing. Moreover, since an above-mentioned radial bearing object and body of revolution are formed with the ceramic material, respectively, they can be equal to the slide between each part material in the low-speed region at the time of the deactivation of body of revolution.

[0004] however, conventional Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> etc. -- when the radial bearing object formed with the ceramics was used by the high-speed rotation exceeding 5000r.p.m., it was

accompanied by the impact by contact of bearing material -- it strikes and a wear phenomenon occurs. That is, if the impulse force of a sudden radial direction joins body of revolution at the time of high-speed rotation, the slide between each part material will be caused in a high-speed region. The conventional ceramic sintered compact was difficult to be equal to the high-speed slide. Therefore, although the load load of the thrust direction which the rotation precision at the time of high-speed rotation is maintained, and joins body of revolution was supported even if it constituted the radial bearing object or the thrust bearing object from a pneumatic-bearing object which consists of a ceramic sintered compact as mentioned above, it was difficult to support the impulse force of the radial direction which joins body of revolution suddenly at the time of high-speed rotation.

[0005] Moreover, when forming the above-mentioned pneumatic-bearing object from a ceramic material, high processing and assembly precision are required of a ceramic member, and there is a problem of causing the rise of a manufacturing cost.

Furthermore, pneumatic bearing needs to be used under pure environment in order to dislike permeation of dust. From this, pneumatic bearing has a defect, like the structure accompanying pneumatic bearing becomes complicated, such as being used with the gestalt contained by the well-closed container, and storage space becomes large. In order to cancel such a trouble, it is possible to use the plain-bearing object of the Bush type formed with the ceramics as a bearing object for high-speed rotation.

[0006] Drawing 16 is the drawing of longitudinal section showing the outline structure of the plain-bearing object of the Bush type formed with the conventional ceramics. This Bush type of plain-bearing object consists of two thrust plain-bearing objects 81 and 82, and the radial plain-bearing object and body of revolution 83 and 84 of a pair. Thus, the plain-bearing object of the Bush type constituted can be equal to the slide between each part material in the low-speed region at the time of deactivation. However, like the pneumatic-bearing object made from the above-mentioned ceramics, in the slide accompanying the high-speed rotation exceeding 5000r.p.m., it strikes with the impact by contact of bearing material, and a wear phenomenon occurs. Therefore, a plain-bearing object conventional Bush type is difficult to be equal to the slide, and when a sliding surface was ruined, it had the defect that frictional resistance increased. Especially, to the load of the thrust direction, this orientation is remarkable. When the same load load compares, the frictional resistance of the thrust direction is 5 to 10 times larger compared with the frictional resistance of a radial direction. Therefore, even if it used the Bush type plain-bearing object made from the ceramics as a bearing object for high-speed rotation, there was a trouble that it was difficult it to be not only difficult to support the impulse force of the sudden radial direction under rotation, but to support the load load of the thrust direction which joins body of revolution.

[0007] Then, it was made in order that this invention might solve the above-mentioned trouble, and it aims at offering the structure of the bearing object which



can be equal to high-speed rotation.

[0008]

[The means for solving a technical problem and the operation effect of invention]

The compound bearing structure where this invention was followed has a predetermined load, and is equipped with the 1st bearing means, the 2nd bearing means, and the 3rd bearing means in support of the body of revolution rotated at high speed. The 1st bearing means contains during rotation the ceramic sintered compact which supports the impulse force of the radial direction which joins body of revolution. The 2nd bearing means supports the load load of the direction of an axis which joins body of revolution, where body of revolution and a predetermined gap are maintained. The 3rd bearing means maintains the rotation precision of the radial direction of body of revolution.

[0009] In this invention, even if the impulse force of a sudden radial direction joins the body of revolution to rotate at high speed, the ceramic sintered compact which constitutes the 1st bearing means supports that impulse force, and can be equal to the slide in a high-speed region. Moreover, the load load of the direction of an axis (thrust) which joins body of revolution is supported by the 2nd bearing means, where path clearance is maintained between body of revolution. Therefore, even if body of revolution rotates at high speed, the rate which the frictional resistance produced to the load of the thrust direction increases may be reduced. Furthermore, the rotation precision of the radial direction of body of revolution to rotate is maintained by the 3rd bearing means at high speed. For this reason, the rotation precision required of a precision instrument may be maintained after long duration operation.

[0010] As mentioned above, according to this invention, since it has the 1st, 2nd, and 3rd bearing means, the increment in the frictional resistance by the load of the thrust direction which a wear phenomenon does not occur according to sudden impulse force during high-speed rotation, and joins body of revolution is controlled, and rotation precision may be further maintained also in rotation of long duration. Therefore, according to this invention, the structure of the compound bearing object suitable for supporting the body of revolution to rotate may be offered at high speed.

[0011] According to the 1st desirable aspect of affairs of this invention, the ceramic sintered compact which constitutes the 1st bearing means contains a silicon nitride system ceramic sintered compact. Moreover, the rate of volume of that grain boundary phase of this silicon nitride system ceramic sintered compact is below 15 volume % including the crystal grain child whose linear density per length of 30 micrometers is 35 or more pieces. Furthermore, an overall diameter is [ the content of the pore of the sintered compact of the silicon nitride system ] 3% or less including pore 20 micrometers or less. Such a silicon nitride system sintered compact is 2 80kg/mm as three JIS flexural strength at least. It is 2 100kg/mm preferably above. It is 5 MPa-m<sup>1/2</sup> as a fracture toughness value above. It has the above mechanical property.

[0012] In the 1st desirable aspect of affairs of this invention, including the crystal

grain child to whom the sintered compact of the silicon nitride system which constitutes the 1st bearing means has the linear density more than constant value, the rate of volume of a grain boundary phase is stopped below at constant value, and porosity is stopped below at constant value. Therefore, bearing material consists of sintered compacts of the silicon nitride system equipped with detailed crystal grain. Consequently, it excels also in chipping-proof nature, without the surface of the silicon nitride system sintered compact which constitutes bearing material suffering a loss according to a crystal grain child's omission etc. Thus, the bearing material which consists of the above-mentioned silicon nitride system sintered compact is equipped with the abrasion resistance which struck and was excellent also to the high-speed slide accompanied by a wear phenomenon. Therefore, the impulse force of the sudden radial direction which joins body of revolution during high-speed rotation is supported with the above-mentioned silicon nitride system sintered compact, and the above-mentioned silicon nitride system sintered compact shows the outstanding abrasion resistance also to the high-speed slide then caused. [0013] In the 2nd desirable aspect of affairs of this invention, the 2nd bearing means includes a dynamic pressure gas bearing means to support a load load by the gas pressure generated by rotation of body of revolution. Moreover, the 2nd bearing means includes a magnetic bearing means to support a load load using a magnetic suction force or magnetic repulsive force. These dynamic pressure gas bearing means and magnetic bearing means contain the rotation member rotated with body of revolution, and the holddown member which maintains a gap in the direction of an axis and counters a rotation member, respectively. In the dynamic pressure gas bearing means, the slot which introduces a gas is formed in the gap so that gas pressure may generate a rotation member and a holddown member in either a rotation member and a holddown member including a ceramic sintered compact. In a magnetic bearing means, a rotation member and a holddown member contain the magnet which makes a gap generate a magnetic suction force or magnetic repulsive force.

[0014] In the 2nd aspect of affairs of this invention, the load of the thrust direction which contributes to increase of the frictional resistance of a bearing object most greatly may be supported or mitigated by the dynamic pressure gas bearing means using the pressure of the gas introduced into the gap from a slot. Or the load of the thrust direction may be supported or mitigated by the magnetic bearing means using magnetic repulsive force or attraction. Thereby, the rise of driving torque may be suppressed very small to the increment in rotational speed. If a magnetic bearing means constitutes the 2nd bearing means especially, compared with a dynamic pressure gas bearing means, the rise of the driving torque over the increment in rotational speed will be suppressed smaller.

[0015] According to the 3rd desirable aspect of affairs of this invention, the 3rd bearing means contains the ceramic sintered compact which maintains rotation precision where body of revolution and a predetermined gap are maintained. In this

case, it becomes possible theoretically by narrowing that gap as much as possible to raise rotation precision.

[0016] Moreover, according to the 3rd more desirable aspect of affairs of this invention, the 3rd bearing means includes a dynamic pressure gas bearing means to maintain rotation precision by the gas pressure generated by rotation of body of revolution. The dynamic pressure gas bearing means contains the rotation member rotated with body of revolution, and the holddown member which maintains a gap at a radial direction and counters the rotation member. The slot which introduces a gas is formed in the gap so that gas pressure may generate a rotation member and a holddown member in either a rotation member and a holddown member including a ceramic sintered compact. Thus, when using a dynamic pressure gas bearing means as 3rd bearing means, even if it enlarges comparatively the gap between a rotation member and a holddown member (path clearance), in high-speed rotation of long duration, rotation precision may be maintained in a high precision.

[0017] Furthermore, in the 3rd more desirable aspect of affairs of this invention, the 3rd bearing means includes a magnetic bearing means to maintain rotation precision using a magnetic suction force or magnetic repulsive force where body of revolution and a predetermined gap are maintained. The magnetic bearing means contains the rotation member rotated with body of revolution, and the holddown member which maintains a gap at a radial direction and counters the rotation member. A rotation member and a holddown member contain the magnet which makes a gap generate a magnetic suction force or magnetic repulsive force. A rotation member and a holddown member consist of a ceramic sintered compact, and the magnet is embedded to the interior of a ceramic sintered compact. Thus, even if it continues high-speed rotation for a long time where path clearance between a rotation member and a holddown member is enlarged comparatively when a magnetic bearing means is used as 3rd bearing means, rotation precision may be maintained in a high precision.

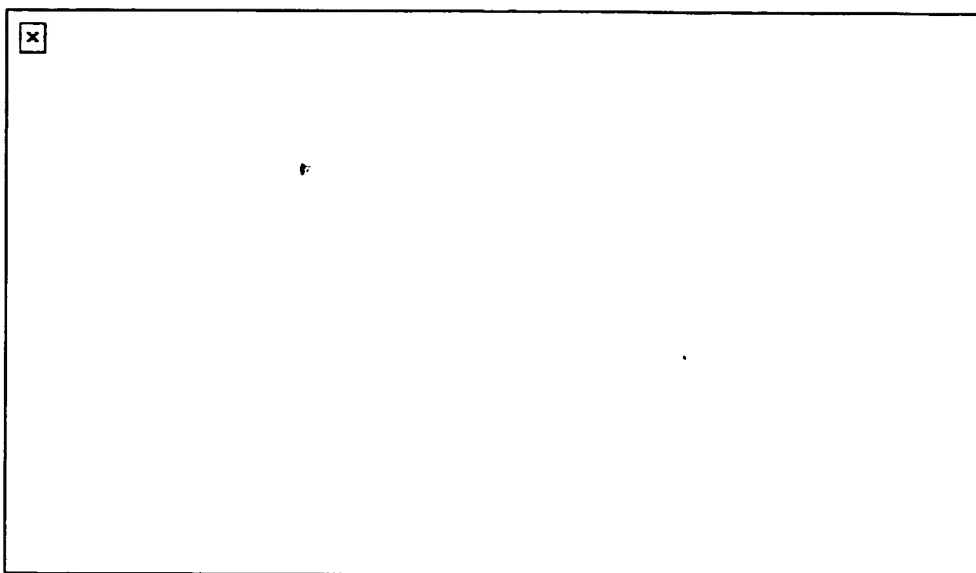
[0018] As explained above, according to this invention, the structure of the various compound bearing objects suitable for supporting the body of revolution to rotate may be offered at high speed.

[0019]

[Example] The various examples of structure of the compound bearing object according to this invention are shown in a table 1. The example of structure of A-H is shown in a table 1 as combination of a radial bearing means and a thrust bearing means. Corresponding to A-H, as for each example of structure, the rough structure is shown in drawing 1 - drawing 8 . In addition, the examples B and H of structure show the example of a comparison of this invention. Hereafter, with reference to a table 1 and each drawing ( drawing 1 - drawing 8 ), the example and the example of a comparison of structure of a compound bearing object are explained in order.

[0020]

[A table 1]



[0021] Example of structure A drawing 1 is the conceptual diagram showing roughly the compound bearing structure by one example of this invention. As shown in drawing 1 , compound bearing structure is equipped with an inner ring of spiral wound gasket 1, an outer ring of spiral wound gasket 2, the lower thrust board 3, and the up thrust board 4. Each part material 1-4 consists of a ceramic sintered compact of a silicon nitride system. An inner ring of spiral wound gasket 1 has the shape of a cylindrical shape so that the peripheral face of a predetermined shaft can be surrounded. The radial dynamic pressure generating slot 5 of the shape of two or more V character is formed in the cylinder side of an inner ring of spiral wound gasket 1. The lower thrust board 3 and the up thrust board 4 are formed so that the both-ends side of an inner ring of spiral wound gasket 1 may be contacted. The cylindrical shape-like outer ring of spiral wound gasket 2 is formed so that it may have predetermined path clearance to the cylinder side of an inner ring of spiral wound gasket 1, and the medial surface of the lower thrust board 3 and the up thrust board 4. Two or more curled form thrust dynamic pressure generating slots 6 are formed in the field where an outer ring of spiral wound gasket 2 and the lower thrust board 3 counter mutually. In addition, it may be formed in either although the thrust dynamic pressure generating slot 6 is formed in both the outer ring of spiral wound gasket 2 and the lower thrust board 3.

[0022] In the compound bearing object constituted as mentioned above, an outer ring of spiral wound gasket 2 shall rotate with body of revolution, and an inner ring of spiral wound gasket 1 and the thrust boards 3 and 4 shall be fixed to a predetermined shaft. If an outer ring of spiral wound gasket 2 rotates with body of revolution at this time, air will be introduced along the radial dynamic pressure generating slot 5 and the thrust dynamic pressure generating slot 6 between an outer ring of spiral wound gasket 2 and the lower thrust board 3 between an outer ring of spiral wound gasket 2 and an inner ring of spiral wound gasket 1, and the path

clearance between each will be kept constant. Thereby, pneumatic bearing is constituted. With the pneumatic pressure generated in each path clearance, without contacting an inner ring of spiral wound gasket 1 and the thrust boards 3 and 4, the outer ring of spiral wound gasket 2 rotated with body of revolution is high-speed, and may be rotated.

[0023] According to the example A of structure, both radial bearing object and thrust bearing object consist of ceramic pneumatic-bearing objects. Therefore, the rotation precision of a radial direction is maintained with a radial pneumatic-bearing object, and the load of the thrust direction is supported with a thrust pneumatic-bearing object. Moreover, the impulse force of the sudden radial direction under high-speed rotation is supported with the silicon nitride system sintered compact by forming the ceramic sintered compact which constitutes each pneumatic-bearing object with the below-mentioned silicon nitride system sintered compact.

[0024] Example of structure B drawing 2 (A) is the conceptual diagram showing roughly the compound bearing structure by the example of a comparison of this invention, and drawing 2 (B) is drawing expanding and showing the portion of the permanent magnet used for that bearing structure. As shown in drawing 2, the compound bearing object of this example of a comparison is equipped with an inner ring of spiral wound gasket 1, an outer ring of spiral wound gasket 2, the lower thrust board 3, and the up thrust board 4. Each part material 1-4 has the base material which consists of a ceramic sintered compact of a silicon nitride system. An inner ring of spiral wound gasket 1 has the shape of a cylindrical shape so that the peripheral face of a predetermined shaft can be surrounded. The thrust boards 3 and 4 are formed so that the both-ends side of an inner ring of spiral wound gasket 1 may be contacted. An outer ring of spiral wound gasket 2 is formed so that predetermined path clearance may be maintained to the cylinder side of an inner ring of spiral wound gasket 1, and the medial surface of the thrust boards 3 and 4. In the case of this example of structure, permanent magnets 7, 8, 9, and 10 are arranged in the shape of a ring in the cylinder side where an inner ring of spiral wound gasket 1 and an outer ring of spiral wound gasket 2 counter mutually, respectively. Moreover, the curled form thrust dynamic pressure generating slot 6 is formed in the field where an outer ring of spiral wound gasket 2 and the lower thrust board 3 counter.

[0025] In the compound bearing object constituted as mentioned above, if an outer ring of spiral wound gasket 2 rotates with body of revolution, there will be it along the thrust dynamic pressure generating slot 6, air will be introduced between an outer ring of spiral wound gasket 2 and the lower thrust board 3, and path clearance in the meantime will be kept constant. Thereby, pneumatic bearing is constituted. On the other hand, since like poles have countered mutually as shown in drawing 2 (B), the permanent magnet 7 of an inner ring of spiral wound gasket 1 (9) and the permanent magnet 8 of an outer ring of spiral wound gasket 2 (10) carry out the operation which keeps constant the path clearance between an inner ring of spiral wound gasket 1 and an outer ring of spiral wound gasket 2 according to the repulsive

force.

[0026] The load of the thrust direction under high-speed rotation is supported [ in / as mentioned above / the example B of structure ] with a pneumatic-bearing object, and the rotation precision of a radial direction is maintained by the magnetic shaft acceptor. However, if the impulse force of a radial direction sudden during high-speed rotation joins body of revolution, the permanent magnet 7 (9) which has countered, and 8 (10) will contact. Therefore, this structure is weak to the impulse force of a radial direction.

[0027] Example C drawing 3 of structure (A) and (B) are the conceptual diagrams showing roughly the compound bearing structure by one example of this invention. As shown in drawing 3 (A), a compound bearing object is equipped with an inner ring of spiral wound gasket 1, an outer ring of spiral wound gasket 2, and the thrust boards 3 and 4. Each part material 1-4 mainly consists of a ceramic sintered compact of a silicon nitride system. The thrust boards 3 and 4 are formed so that the both-ends side of an inner ring of spiral wound gasket 1 may be contacted. The outer ring of spiral wound gasket 2 is formed so that predetermined path clearance may be maintained to the cylinder side of an inner ring of spiral wound gasket 1, and the medial surface of the thrust boards 3 and 4. In the case of this example of structure, permanent magnets 7-10 are formed in the cylinder side where an inner ring of spiral wound gasket 1 and an outer ring of spiral wound gasket 2 counter mutually, respectively. Moreover, the thrust dynamic pressure generating slot 6 is formed in the field where an outer ring of spiral wound gasket 2 and the lower thrust board 3 counter in two or more curled form forms. The path clearance between an inner ring of spiral wound gasket 1 and an outer ring of spiral wound gasket 2 consists of the 1st path clearance between the ceramic sintered compacts which constitute each member, and a permanent magnet 7 (9) and the 2nd path clearance between 8 (10). The 2nd path clearance is larger than the 1st path clearance.

[0028] In the compound bearing object constituted as mentioned above, when an outer ring of spiral wound gasket 2 rotates with body of revolution, air is introduced along the thrust dynamic pressure generating slot 6 between an outer ring of spiral wound gasket 2 and the lower thrust board 3, path clearance in the meantime is kept constant, and a thrust pneumatic-bearing object is constituted. Moreover, in a radial direction, when fixed path clearance is maintained by a permanent magnet 7 (9) and the repulsive force produced between 8 (10), the rotation precision under high-speed rotation is maintained. Even if the sudden impulse force of a radial direction joins body of revolution at this time, an inner ring of spiral wound gasket 1 and an outer ring of spiral wound gasket 2 do not contact between permanent magnets, and contact between the silicon nitride system sintered compacts of high intensity. Therefore, there is nothing that were accompanied by the impact by contact to an inner ring of spiral wound gasket 1 and an outer ring of spiral wound gasket 2 in the slide accompanying high-speed rotation and that it strikes and a wear phenomenon generates.

[0029] As mentioned above, the rotation precision of a radial direction is maintained in the example C of structure, and the compound bearing structure which the load of the thrust direction is not only supported, but can be borne to the sudden impulse force of a radial direction is offered.

[0030] Another type of the example C of structure is shown in drawing 3 (B). A different point from the structure shown in drawing 3 (A) is that the permanent magnet 11 is embedded to the interior of an inner ring of spiral wound gasket 1, and permanent magnets 8 and 10 are formed in the periphery cylinder side side of an outer ring of spiral wound gasket 2. In this case, a permanent magnet 8 (10) and 11 generate repulsive force through the ceramic sintered compact which constitutes an inner ring of spiral wound gasket 1 and an outer ring of spiral wound gasket 2, respectively. At this time, the path clearance between an inner ring of spiral wound gasket 1 and an outer ring of spiral wound gasket 2 is set up in consideration of the repulsive force between magnets required in order to maintain a predetermined rotation precision.

[0031] Example D drawing 4 of structure is the conceptual diagram showing roughly the compound bearing structure by one example of this invention. As shown in drawing 4, a compound bearing object is equipped with an inner ring of spiral wound gasket 1, an outer ring of spiral wound gasket 2, and the thrust boards 3 and 4. Each part material 1-4 consists of a ceramic sintered compact of a silicon nitride system. An inner ring of spiral wound gasket 1 has the shape of a cylindrical shape so that the peripheral face of a predetermined shaft can be surrounded. The thrust boards 3 and 4 are formed so that the both-ends side of an inner ring of spiral wound gasket 1 may be contacted. an outer ring of spiral wound gasket 2 is formed so that an inner ring of spiral wound gasket 1 may resemble the thrust boards 3 and 4, respectively, it may receive and predetermined path clearance may be maintained. The curled form thrust dynamic pressure generating slot 6 is formed in the field where an outer ring of spiral wound gasket 2 and the lower thrust board 3 counter. The path clearance between an inner ring of spiral wound gasket 1 and an outer ring of spiral wound gasket 2 is set as a minute value so that a predetermined rotation precision can be maintained during high-speed rotation. Thus, the load of the thrust direction is supported with the pneumatic-bearing object constituted as mentioned above, and the rotation precision of a radial direction is maintained by the minute path clearance between an inner ring of spiral wound gasket 1 and an outer ring of spiral wound gasket 2. Moreover, the impulse force of the sudden radial direction under high-speed rotation is supported with the silicon nitride system ceramic sintered compact of the high intensity which constitutes an inner ring of spiral wound gasket 1 and an outer ring of spiral wound gasket 2.

[0032] Example of structure E drawing 5 is the conceptual diagram showing roughly the structure of the compound bearing object by one example of this invention. As shown in drawing 5, a compound bearing object is equipped with an inner ring of spiral wound gasket 1, an outer ring of spiral wound gasket 2, the lower thrust board

13, and the up thrust board 4. An inner ring of spiral wound gasket 1, an outer ring of spiral wound gasket 2, and the up thrust board 4 mainly consist of ceramic sintered compacts of a silicon nitride system. An inner ring of spiral wound gasket 1 has the shape of a cylindrical shape so that the peripheral face of a predetermined shaft can be surrounded. The radial dynamic pressure generating slot 5 of the shape of two or more V character is formed in the cylinder side of an inner ring of spiral wound gasket 1. The lower thrust board 13 consists of a permanent magnet. The ring-like permanent magnet 12 is formed in the field of the outer ring of spiral wound gasket 2 which counters the lower thrust board 13.

[0033] Thus, in the compound bearing object constituted, if an outer ring of spiral wound gasket 2 rotates with body of revolution, air will be introduced along the radial dynamic pressure generating slot 5 between an inner ring of spiral wound gasket 1 and an outer ring of spiral wound gasket 2, and path clearance in the meantime will be kept constant. Thereby, since a pneumatic-bearing object is constituted, the rotation precision of a radial direction is maintained. Moreover, since the permanent magnet 12 and the lower thrust board (permanent magnet) 13 of an outer ring of spiral wound gasket 2 generate repulsive force, predetermined path clearance is maintained between an outer ring of spiral wound gasket 2 and the lower thrust board 13. Thereby, thrust loading under high-speed rotation is supported.

Furthermore, since the inner ring of spiral wound gasket 1 and the outer ring of spiral wound gasket 2 consist of silicon nitride system sintered compacts of high intensity, even if sudden impulse force is added during high-speed rotation and an inner ring of spiral wound gasket 1 contacts an outer ring of spiral wound gasket 2, it strikes and a wear phenomenon does not occur.

[0034] As mentioned above, while according to the example E of structure rotation precision is maintained during high-speed rotation and the load of the thrust direction is supported, the compound bearing object which can be borne also to the impulse force under high-speed rotation is offered.

[0035] Example of structure F drawing 6 (A) and (B) are the conceptual diagrams showing roughly the structure of the compound bearing object by one example of this invention. As shown in drawing 6 (A), a compound bearing object is equipped with an inner ring of spiral wound gasket 1, an outer ring of spiral wound gasket 2, and the thrust boards 3 and 4. It mainly consists of ceramic sintered compacts of each part material 1 – 4 silicon-nitride system. A different point from the example C of structure ( drawing 3 (A)) is the structure of the bearing object of the thrust direction. Permanent magnets 15 and 16 are formed in the field where an outer ring of spiral wound gasket 2 and the lower thrust board 3 counter. The permanent magnet 15 is formed so that the permanent magnet 14 of an inner ring of spiral wound gasket 1 may also be countered. Thus, the load of the thrust direction is also supported by the magnetic shaft acceptor. According to this example F of structure, the rotation precision of a radial direction is maintained by the magnetic shaft acceptor, the load of the thrust direction is supported by the magnetic shaft



acceptor, and the impulse force of a radial direction is supported with the ceramic sintered compact of high intensity.

[0036] Drawing 6 (B) shows another type of the example F of structure. A different point from the example C of structure ( drawing 3 (B)) is that the load of the thrust direction is not supported with a pneumatic-bearing object, but is supported by the magnetic shaft acceptor. That is, the permanent magnet 17 of the lower thrust board 3 is formed so that the permanent magnet 10 of an outer ring of spiral wound gasket 2 may be countered.

[0037] Example of structure G drawing 7 (A) and (B) are the conceptual diagrams showing roughly the structure of the compound bearing object by one example of this invention. As shown in drawing 7 (A), a compound bearing object is equipped with an inner ring of spiral wound gasket 1, an outer ring of spiral wound gasket 2, the lower thrust board 13, and the up thrust board 4. An inner ring of spiral wound gasket 1, an outer ring of spiral wound gasket 2, and the up thrust board 4 mainly consist of ceramic sintered compacts of a silicon nitride system. An inner ring of spiral wound gasket 1 has the shape of a cylindrical shape so that the peripheral face of a predetermined shaft can be surrounded. The thrust boards 13 and 4 are formed so that the both-ends side of an inner ring of spiral wound gasket 1 may be contacted. The lower thrust board 13 consists of a permanent magnet. The permanent magnet 12 is formed in the field of the lower thrust board 13 and the outer ring of spiral wound gasket 2 which counters. The path clearance between an inner ring of spiral wound gasket 1 and an outer ring of spiral wound gasket 2 is set as a minute value so that a predetermined rotation precision can be maintained during high-speed rotation. Thus, while the load of the thrust direction is supported by the repulsive force generated with a permanent magnet 12 and the lower thrust board (permanent magnet) 13, the impulse force of a radial direction is supported with the silicon nitride system sintered compact of the high intensity which constitutes an inner ring of spiral wound gasket 1 and an outer ring of spiral wound gasket 2.

[0038] On the other hand, as shown in drawing 7 (B), even if it sets the path clearance between an inner ring of spiral wound gasket 1 and an outer ring of spiral wound gasket 2 as a bigger value than the compound bearing object of drawing 7 (A) in the compound bearing object which equipped with the permanent magnet 18 the field of the up thrust board 19 which consists of a permanent magnet, and the outer ring of spiral wound gasket 2 which counters it, a predetermined rotation precision under high-speed rotation is maintainable. By holding the upper and lower sides of an outer ring of spiral wound gasket 2 by the magnetic bearing, this is because \*\*\*\* of the outer ring of spiral wound gasket 2 under high-speed rotation can be controlled.

[0039] Example of structure H drawing 8 is the conceptual diagram showing roughly the structure of the compound bearing object by the example of a comparison of this invention. As shown in drawing 8 , a compound bearing object is equipped with

an inner ring of spiral wound gasket 1, an outer ring of spiral wound gasket 2, and the thrust boards 3 and 4. Each part material 1-4 consists of a ceramic sintered compact of a silicon nitride system. An inner ring of spiral wound gasket 1 has the shape of a cylindrical shape so that the peripheral face of a predetermined shaft can be surrounded. The thrust boards 3 and 4 are formed so that the both-ends side of an inner ring of spiral wound gasket 1 may be contacted. An outer ring of spiral wound gasket 2 is formed so that predetermined path clearance may be maintained to an inner ring of spiral wound gasket 1 and the thrust boards 3 and 4. Thus, according to the constituted compound bearing object, the radial rotation precision under high-speed rotation is maintained by setting the path clearance between an inner ring of spiral wound gasket 1 and an outer ring of spiral wound gasket 2 as a minute value. Moreover, the sudden impulse force under high-speed rotation is supported with the ceramic sintered compact of the silicon nitride system of the high intensity which constitutes an inner ring of spiral wound gasket 1 and an outer ring of spiral wound gasket 2. However, it is difficult to support the load of the thrust direction during high-speed rotation with the thrust boards 3 and 4.

[0040] If the above example A-H of structure is summarized, the direction of the magnetic shaft acceptor of example E-G of structure is able to attain simplification of structure about the supporting structure of the load of the thrust direction compared with the pneumatic-bearing object of example A-D of structure. Moreover, in supporting the load of the thrust direction with a pneumatic-bearing object, fixed area is needed in order to secure lift. Furthermore, if it does not become more than a fixed rotational frequency according to the pneumatic-bearing object, according to the magnetic shaft acceptor, lift can be generated from rotational initiation to lift not occurring.

[0041] as the means for raising the rotation precision of a radial direction -- a radial bearing object -- a pneumatic-bearing object -- carrying out (examples A and E of structure) -- that (examples B, C, and F of structure) which uses a magnetic shaft acceptor together is effective. Even if it adopts a Bush type plain-bearing object, it is possible by setting the path clearance (gap) of an inner ring of spiral wound gasket and an outer ring of spiral wound gasket as a minute value to raise rotation precision (examples D, G, and H of structure).

[0042] About the shock resistance of a radial direction, all examples of structure other than the example B of structure which does not use a ceramic sintered compact for a radial bearing object may be satisfied. Other than the example B of structure, even if impulse force is added during high-speed rotation and an inner ring of spiral wound gasket and an outer ring of spiral wound gasket contact, it is not burned. Since a chip and a chipping do not occur when the silicon nitride system ceramic sintered compact of high intensity is used especially, a good bearing property may be maintained.

[0043] Next, in the compound bearing structure of one example of this invention, the manufacture method of the sintered compact of a silicon nitride system is explained

as a material of the impact-proof member of a radial direction.

[0044] Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 96.5% and whose amount of oxygen 3mho=0.20micrometer and the rate of alpha crystallization are [ mean particle diameter ] 1.4 % of the weight for 0.3 micrometers and particle size distribution Raw material powder was prepared. This Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 92 % of the weight and whose mean particle diameter are 0.8 micrometers about raw material powder aluminum 2O<sub>3</sub> 4 % of the weight and whose mean particle diameter are 0.5 micrometers about powder Wet blending of the AlN powder 3 % of the weight and whose mean particle diameter are 1.0 micrometers about powder was carried out at 1% of the weight of a rate for 100 hours using the ball mill in ethanol. Then, it is the mixed powder obtained by drying 5000kg/cm<sup>2</sup> CIP (hydrostatic pressure between the colds) shaping was carried out by the pressure. The acquired Plastic solid was held in the temperature of 1600 degrees C for 4 hours under the nitrogen-gas-atmosphere mind of one atmospheric pressure. Furthermore, the sintered compact was obtained by performing sintering processing in the temperature of 1750 degrees C for 6 hours. Then, in the temperature of 1700 degrees C, HIP (hydrostatic pressure between heat) processing of 2 hours was performed to this sintered compact in the nitrogen-gas-atmosphere mind of 1000 atmospheric pressures.

[0045] Thus, in the sintered compact of the obtained silicon nitride system, average major-axis particle size was 5 micrometers or less, the aspect ratio of the crystal grain was four or more, and the greatest major-axis particle size was 15 micrometers or less. This sintered compact is 2 the three JIS flexural strength of 80kg/mm. It is fracture toughness value 5 MPa·m<sup>1/2</sup> / 2 above. It had the above mechanical property. The test piece was started from the obtained sintered compact, and abrasion resistance was evaluated according to the AMUSURA type abrasion test.

[0046] Drawing 9 (A) is a graph which shows the relation of the load, the product (P-V) of rotational speed, and wear rate which are added to a sample. In drawing 9, each curvilinear a-e shows the measurement result obtained by the following samples.

[0047] a: That whose overall diameter of 0.05% and pore 8 volume % and porosity is [ the linear density of the crystal grain child per length of 30 micrometers ] 8 micrometers in the sintered compact of the silicon nitride system obtained by the manufacture method of the example above of this invention for the rate of volume of 40 pieces and a grain boundary phase.

[0048] b: That whose overall diameter of 3.2% and pore 16 volume % and porosity is [ the linear density of the crystal grain child per length of 30 micrometers ] 22 micrometers in the sintered compact of the silicon nitride system obtained by the manufacture method of the example above of a comparison for the rate of volume of 30 pieces and a grain boundary phase.

[0049] c, d, e: The conventional example ceramic industry association magazine, the sample of the sintered compact of a silicon nitride system shown in 73rd page - the

80th volume [ 93rd ] page (especially Fig. 3) in 1985.

[0050] in addition, the AMUSURA type abrasion test be performed by measure the reduction degree of the weight of two samples, after perform the sliding trial of about 100000 rotations by a mutual circumference side fix a two ring-like sample ( $\phi 16 \text{ mm} \times \phi 30 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}$ ) to the axis of rotation of a testing machine in the condition of be correctly in contact, add a predetermined load, and make the axis of rotation drive at a predetermined rotational frequency.

[0051] The sintered compact according to this invention is extremely excellent in abrasion resistance so that clearly from (A) of drawing 9 . When the value of P-V ( $\text{kg-m/s}$ ) in drawing 9 is converted into per unit area of a sliding surface, it comes to be shown in (B) of drawing 9 .

[0052] The sintered compact produced as mentioned above considers the case where it is exposed to the slide in high-speed rotation of the rotating polygon for laser beam printers. The magnitude of a polygon mirror (polygon mirror) is about 10mm in thickness in the polyhedron (six to 20 face piece) which enters in an about [  $\phi 30\text{--}150 \text{ mm}$  ] circumscribed circle cylinder. The weight of such a polygon mirror is within the limits of about 20–500g. Therefore, if the diameter of the bearing object which supports the above-mentioned polygon mirror is set to 10mm and the rotational frequency of a polygon mirror is made into 2000 – 100000r.p.m., the peripheral speed will serve as 100 – 5200 cm/s. At this time, it is a bearing surface product  $3.14 \text{ cm}^2$  If it carries out, the value of P-V ( $\text{kg/cm-s}$ ) will serve as 1 – 828  $\text{kg/cm-s}$ . (B) of drawing 9 is referred to to the value of P-V within the limits of this. The sintered compact of this invention can show a low wear rate to the value of wide range P-V of 1 – 600  $\text{kg/cm-s}$ , and can be enough borne to the slide in high-speed rotation of the above-mentioned polygon mirror.

[0053] That is, in the above-mentioned example, the case where the sintered compact is always sliding is considered during high-speed rotation. Also in such a case, since the sintered compact of this invention shows a low wear rate to the value of wide range P-V, even if sudden impulse force is added during high-speed rotation even if and the slide accompanying high-speed rotation is caused, the sintered compact of this invention can be borne enough at the slide.

[0054] Next, the bearing engine performance was evaluated using the predetermined testing machine about each \*\*\*\* of the above-mentioned examples G, D, and H of structure.

[0055] Drawing 10 is the schematic diagram showing the configuration of the bearing performance-evaluation testing machine used for the example G of structure. The inner ring of spiral wound gasket 50 which consists of a sintered compact of the above-mentioned silicon nitride system so that it may have the bore of 10mm is produced. This inner ring of spiral wound gasket 50 is formed so that it may rotate with body of revolution 200. An outer ring of spiral wound gasket 100 consists of a sintered compact of the above-mentioned silicon nitride system, and it is formed so that predetermined path clearance may be maintained and received to an inner ring

of spiral wound gasket 50. Moreover, the upper part of body of revolution 200 is equipped with the magnetic shaft acceptor 500 constituted using the repulsive force of a ferrite magnet.

[0056] Drawing 11 is the schematic diagram showing the configuration of the bearing performance-evaluation testing machine used for the example D of structure. The inner ring of spiral wound gasket 1000 which consists of the above-mentioned silicon nitride system sintered compact so that it may have the bore of 10mm is produced. This inner ring of spiral wound gasket 1000 is formed so that it may rotate with body of revolution 200. An outer ring of spiral wound gasket 1100 is formed so that predetermined path clearance may be maintained to an inner ring of spiral wound gasket 1000. An outer ring of spiral wound gasket 1100 is produced from the sintered compact of the above-mentioned silicon nitride system. In the bottom of an outer ring of spiral wound gasket 1100, the thrust board 900 which consists of a ceramic sintered compact of a silicon nitride system is formed. The curled form dynamic pressure generating slot 1200 is formed in the field of the inner ring of spiral wound gasket 1000 which counters this thrust board 900.

[0057] Drawing 12 is the schematic diagram showing the configuration of the bearing performance-evaluation testing machine used for the example H of structure. The inner ring of spiral wound gasket 700 which consists of a ceramic sintered compact of the above-mentioned silicon nitride system so that it may have the bore of 10mm is produced. This inner ring of spiral wound gasket 700 is formed so that it may rotate with body of revolution 200. An outer ring of spiral wound gasket 800 consists of a sintered compact of the above-mentioned silicon nitride system, and it is formed so that predetermined path clearance may be maintained to an inner ring of spiral wound gasket 700. In the bottom of an outer ring of spiral wound gasket 800, the thrust board 600 which consists of a ceramic sintered compact of a silicon nitride system is formed. Predetermined path clearance is prepared between the thrust board 600 and an inner ring of spiral wound gasket 700.

[0058] After making the rotational frequency of body of revolution 200 reach to the set point by the motor 300 using each bearing performance-evaluation testing machine constituted as mentioned above, it held for 10 minutes at the setting rotational frequency. Then, driving torque was measured using the torque meter 400.

[0059] Rotational frequency [r. of the body of revolution by which drawing 13 is supported by the examples G, D, and H of structure of a compound bearing object It is the graph which shows the relation between p.m.] (or peripheral speed in family inner skin [m/sec]), and driving torque [g-cm] based on the above-mentioned measurement result. The measurement result using the compound bearing object of the example G of structure is shown by -. The result of having used the compound bearing object of the example D of structure is shown by \*\*. The measurement result using the compound bearing object of the example H of structure is shown by O. The ratio of the rate of increase of driving torque to the rate of increase of a rotational frequency (peripheral speed) has the smallest case of the example G of

structure, and it is small in order of the example D of structure, and the example H of structure so that clearly from drawing 13 .

[0060] If a magnetic shaft acceptor is adopted as a bearing object of the thrust direction in the structure of the compound bearing object of this invention from the above measurement result, it will become possible to suppress the rise of driving torque very small to the increment in rotational speed. That is, as for the load of the thrust direction which contributes to increase of the frictional resistance of a bearing object most greatly, being supported by the magnetic shaft acceptor is most desirable.

[0061] Next, the bearing of the rotating polygon for laser beam printers can be mentioned as an example of the use of the compound bearing structure of this invention. Hereafter, the rotating polygon used for a laser beam printer is explained.

[0062] Drawing 14 is drawing showing roughly one example of the rotating polygon used for a laser beam printer. As shown in drawing 14 , the pivot 21 is formed in frame 20a of a motor 20. The inner ring of spiral wound gasket 22 of the shape of a cylinder which consists of a sintered compact of an above-mentioned silicon nitride system is attached in the periphery of the pivot 21. Moreover, the plate-like thrust boards 23 and 24 which consist of a sintered compact (or permanent magnet) of the above-mentioned silicon nitride system are attached at the end face and tip of a pivot 21, respectively so that it may be located in the vertical both sides of this inner ring of spiral wound gasket 22. The outer ring of spiral wound gasket 25 as body of revolution which constitutes the support portion of a rotating polygon 30 is similarly formed in the shape of a ring with the sintered compact of the above-mentioned silicon nitride system. Thus, the compound bearing structure corresponding to each examples A, C, D, E, F, and G of structure consists of each part material 22, 23, 24, and 25. The reflective frame 27 made from aluminum is attached in the periphery of an outer ring of spiral wound gasket 25. Between two thrust boards 23 and 24 and outer rings of spiral wound gasket 25, predetermined path clearance is prepared between an inner ring of spiral wound gasket 22 and an outer ring of spiral wound gasket 25. Moreover, two or more mirror side 27a which constitutes a polyhedron (for example, octahedron) focusing on an inner ring of spiral wound gasket 22 is formed in the periphery of the reflective frame 27. Two or more coils 28 are arranged on the bottom wall side of frame 20a at the centering on pivot 21 circumference top. Two or more permanent magnets 29 are arranged by the medial surface of the reflective frame 27 so that these coils 28 may be countered. Rota of a drive motor 20 is constituted by the outer ring of spiral wound gasket 25 and the reflective frame 27.

[0063] The performance-evaluation result at the time of using the examples E, F, and G of structure for the rotating polygon shown in drawing 14 as a compound bearing object of this invention is shown in a table 2, a table 3, and a table 4, respectively.

[0064] It is the value which it has set to each table, and current shows the

• • • • •

[0065] In order to evaluate the deflection condition of the polygon mirror under rotation, the mirror side fell and the angle was measured. The field failure angle shown in each table is the value which measured the maximum deflection width of face for all mirror sides.

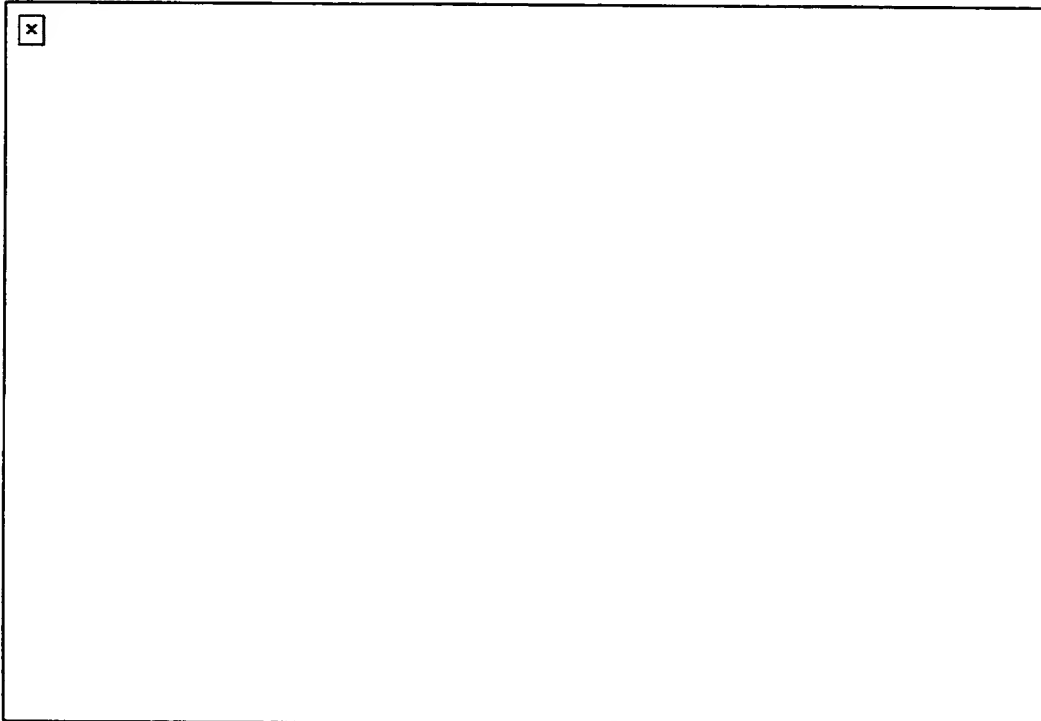
[0066] In addition, in the example E of structure, as shown in drawing 5, the outer diameter of an inner ring of spiral wound gasket 1 is  $\phi 20\text{mm}$ , and the length is 30mm. The path clearance between an inner ring of spiral wound gasket 1 and an outer ring of spiral wound gasket 2 is 60 micrometers.

[0067] Moreover, as the example F of structure is shown in drawing 6 (A), the outer diameter of an inner ring of spiral wound gasket 1 is  $\phi 20\text{mm}$  (outer diameter of the portion which consists of ceramic sintered compacts of a silicon nitride system), and the length is 30mm. The path clearance between an inner ring of spiral wound gasket 1 and an outer ring of spiral wound gasket 2 is 40 micrometers.

[0068] In the example G of structure, as shown in drawing 7 , the outer diameter of an inner ring of spiral wound gasket 1 is  $\phi 20\text{mm}$ , and the length is 30mm. The path clearance between an inner ring of spiral wound gasket 1 and an outer ring of spiral wound gasket 2 is 2.5 micrometers.

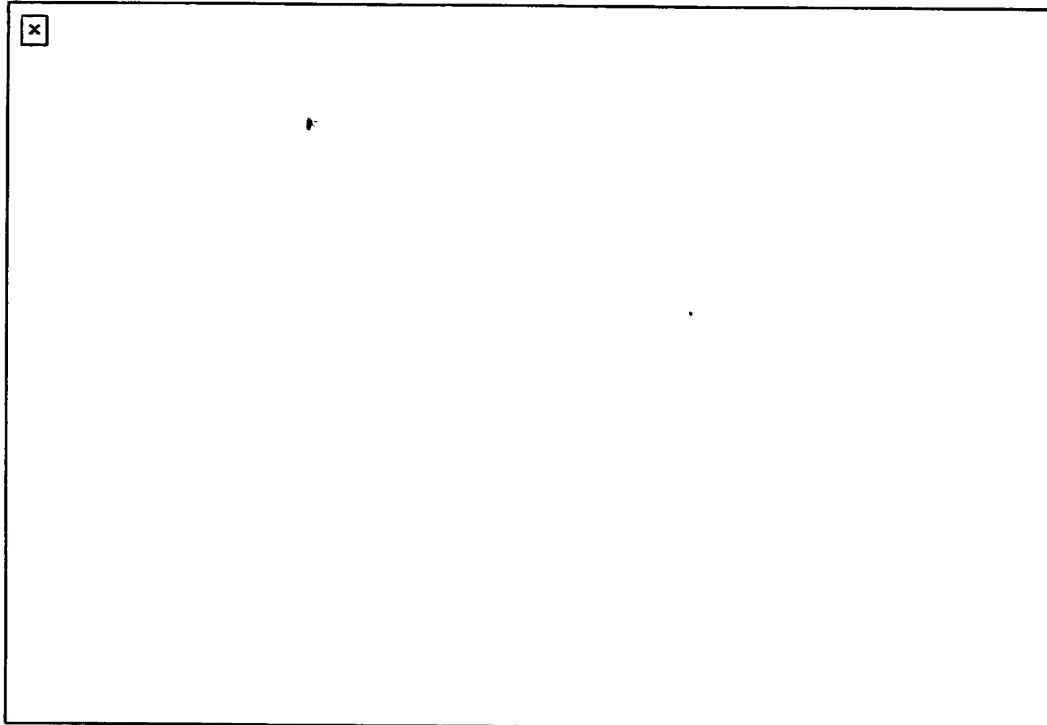
[0069]

[A table 2]



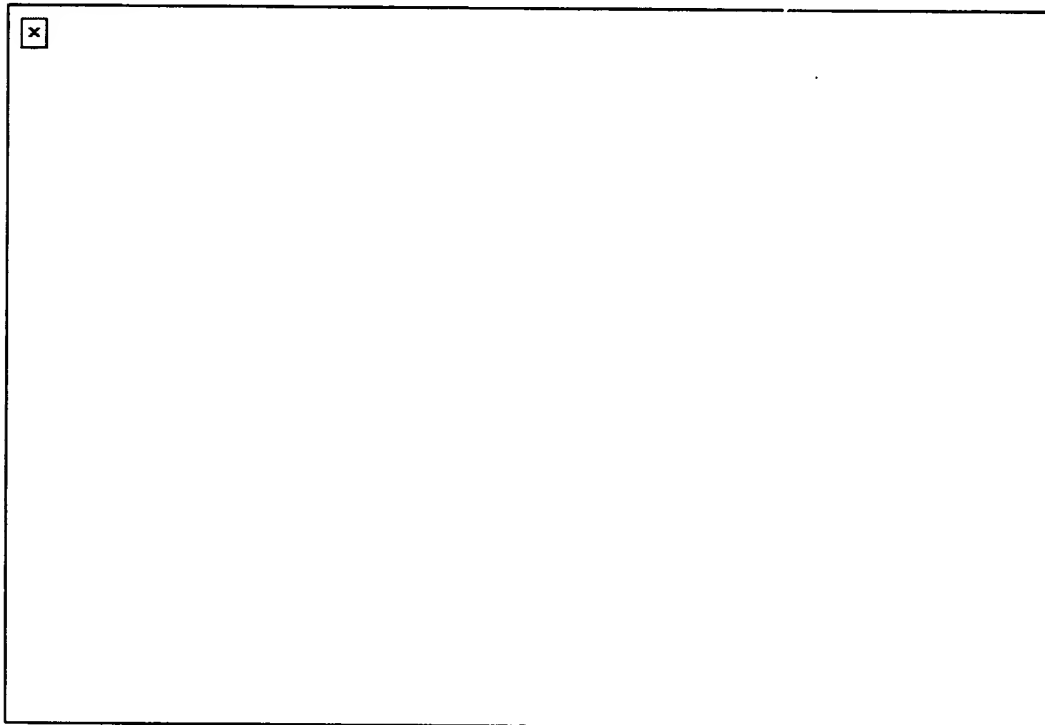
[0070]

[A table 3]



[0071]

[A table 4]



[0072] any of the examples E, F, and G of structure -- although -- the field failure angle of a mirror is stopped within the limits of 1 minute after 10000-hour operation



by rotational frequency 100000r.p.m. From the above result, even if the polygon mirror slewing gear using the compound bearing object of this invention performs high-speed rotation for a long time, it has the rotation precision which was very excellent.

[0073] Moreover, if a table 2 – a table 4 are referred to, even if it adopts which bearing structure of the examples E, F, and G of structure, the value of an almost comparable field failure angle is acquired. However, to adopt the example G of structure (table 4), it is necessary to set the path clearance between an inner ring of spiral wound gasket and an outer ring of spiral wound gasket as a minute value as mentioned above. On the other hand, when adopting the examples E and F (a table 2 and table 3) of structure, the path clearance between an inner ring of spiral wound gasket and an outer ring of spiral wound gasket can be set as an above comparatively big value.

[0074] Drawing 15 is drawing showing roughly another example of the polygon mirror slewing gear with which the compound bearing structure of this invention is used. The axis of rotation 52 is formed in the axis of a case 51. This axis of rotation 52 is supported free [ rotation ] with one compound bearing object 53 of the above-mentioned examples A, C, D, E, F, and G of structure. The compound bearing object 53 consists of an inner ring of spiral wound gasket 60, thrust boards 61 and 62, and an outer ring of spiral wound gasket 63. Rota 54 is attached in the outer ring of spiral wound gasket 63 of the compound bearing object 53. The aperture 57 is formed in the case 51. The polygon mirror 56 is attached so that this aperture 57 may be countered. The polygon mirror 56 is attached in the upper part of the axis of rotation 52.

[0075] In addition, as an example of the compound bearing object of this invention, although the bearing object of a rotating polygon was shown, it is not limited to this. For example, the compound bearing object of this invention may suit the bearing used for machine tools, such as the turbine-shaft carrier for superchargers rotated at the high speed of 80000 – 150000r.p.m., the turbine rotated at the high speed of 20000 – 30000r.p.m., bearing for compressors, bearing for high-speed rotation used for the turbine pump for rocket engines, a CNC ultraprecise lathe, an ultraprecise lathe for cylinder processing, and an ultraprecise surface grinder.

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

**Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.**

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

---

## DESCRIPTION OF DRAWINGS

---

### [Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is the conceptual diagram showing roughly the example A of structure of the compound bearing object of this invention.

[Drawing 2] They are the conceptual diagram (A) showing roughly the structure of the compound bearing object by the example of a comparison of this invention, and the enlarged view (B) expanding and showing the portion of the permanent magnet used for that structure.

[Drawing 3] It is the conceptual diagram showing (B) with two types (A) of the example C of structure of the compound bearing object of this invention roughly.

[Drawing 4] It is the conceptual diagram showing roughly the example D of structure of the compound bearing object of this invention.

[Drawing 5] It is the conceptual diagram showing roughly the example E of structure of the compound bearing object of this invention.

[Drawing 6] It is the conceptual diagram showing (B) with two types (A) of the example F of structure of the compound bearing object of this invention roughly.

[Drawing 7] It is the conceptual diagram showing (B) with two types (A) of the example G of structure of the compound bearing object of this invention roughly.

[Drawing 8] It is the conceptual diagram showing roughly the example H of structure of the compound bearing object of this invention.

[Drawing 9] They are the graph (A) which shows the relation of the wear rate of a sintered compact and the value of P-V which constitute the impact-proof member of a radial direction in the compound bearing structure of this invention with the conventional example and the example of a comparison, and (B).

[Drawing 10] It is the schematic diagram showing the configuration of the testing machine used in order to evaluate the bearing engine performance of the example G of structure of the compound bearing object of this invention.

[Drawing 11] It is the schematic diagram showing the configuration of the testing machine used in order to evaluate the bearing engine performance of the example D of structure of the compound bearing object of this invention.

[Drawing 12] It is the schematic diagram showing the configuration of the testing machine used in order to evaluate the bearing engine performance of the example H of structure of the compound bearing object as an example of a comparison of this invention.

[Drawing 13] As one example of the engine performance of the compound bearing object of this invention, it is the graph which shows the relation between a rotational frequency and driving torque.

[Drawing 14] It is the block diagram showing roughly one example of the slewing gear of a polygon mirror with which the compound bearing structure of this invention is used.

[Drawing 15] It is the block diagram showing roughly another example of the slewing gear of a polygon mirror with which the compound bearing structure of this invention is used.

[Drawing 16] It is the drawing of longitudinal section showing roughly the configuration of a plain-bearing object conventional Bush type.

[Description of Notations]

- 1 Inner Ring of Spiral Wound Gasket
- 2 Outer Ring of Spiral Wound Gasket
- 3 Lower Thrust Board
- 4 Up Thrust Board
- 5 Radial Dynamic Pressure Generating Slot
- 6 Thrust Dynamic Pressure Generating Slot
- 7-19 Permanent magnet

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

**Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.**

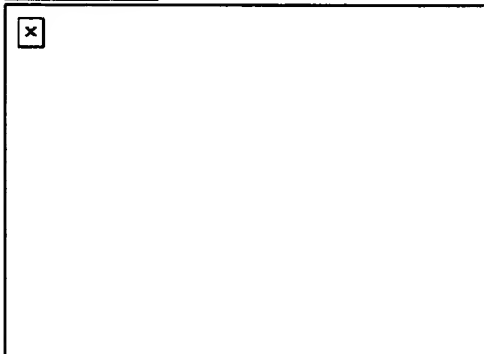
- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

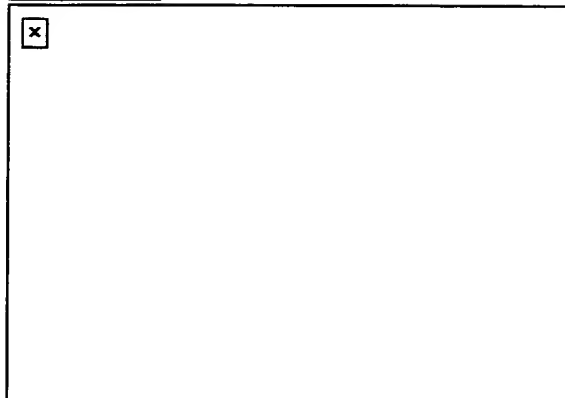
**DRAWINGS**

---

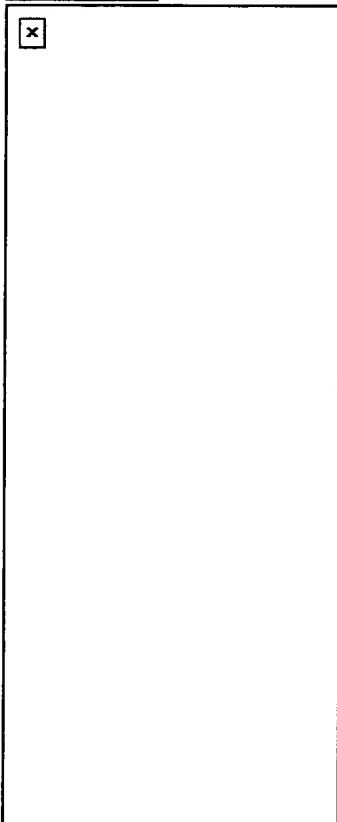
[Drawing 1]



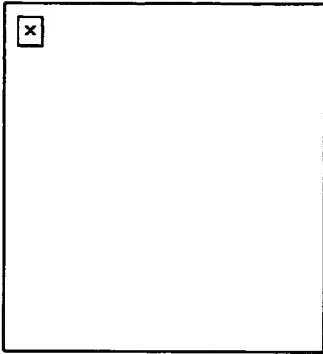
[Drawing 2]



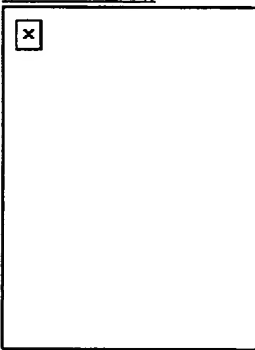
[Drawing 3]



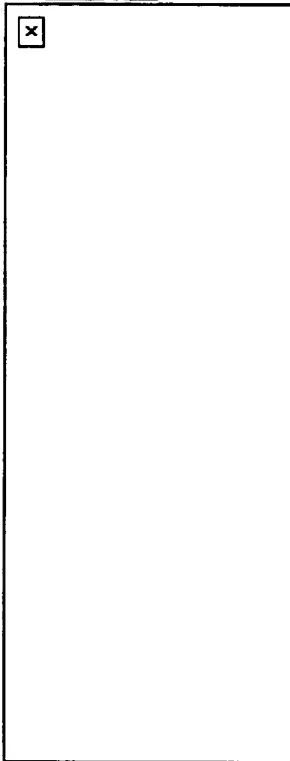
[Drawing 4]



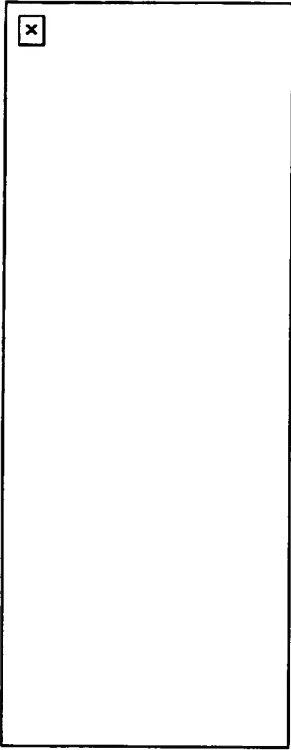
[Drawing 5]



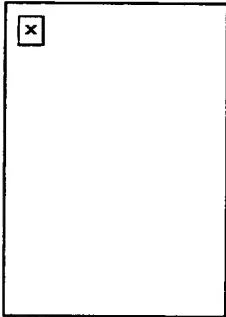
[Drawing 6]



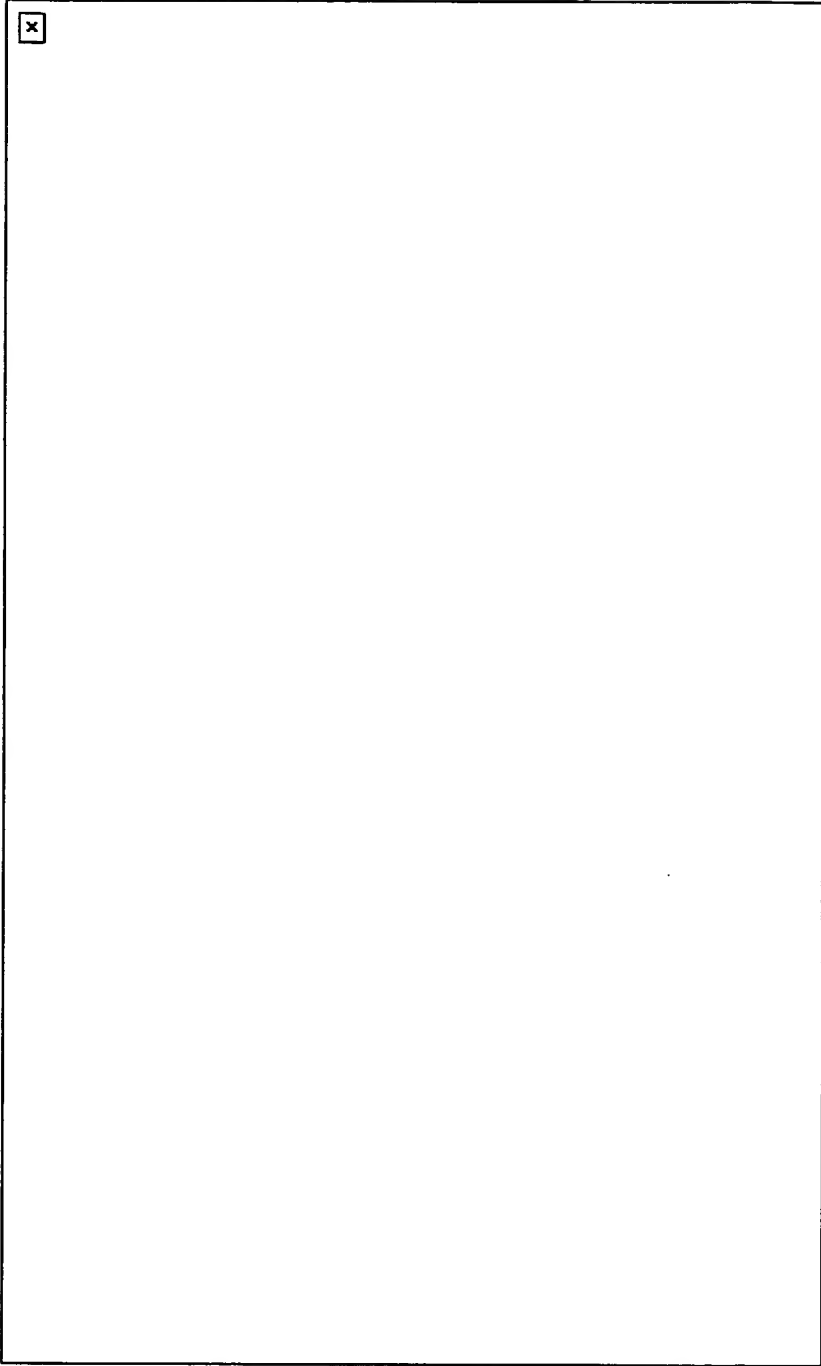
[Drawing 7]



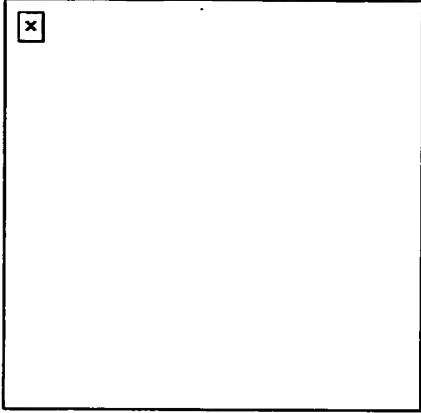
[Drawing 8]



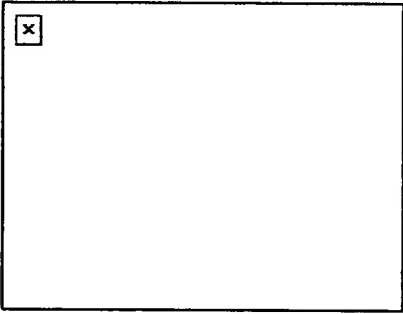
[Drawing 9]



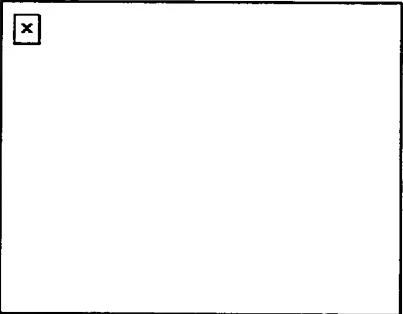
[Drawing 10]



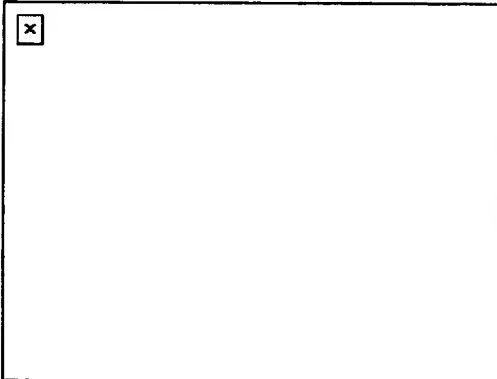
[Drawing 11]



[Drawing 12]

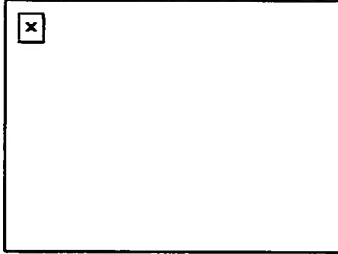


[Drawing 15]

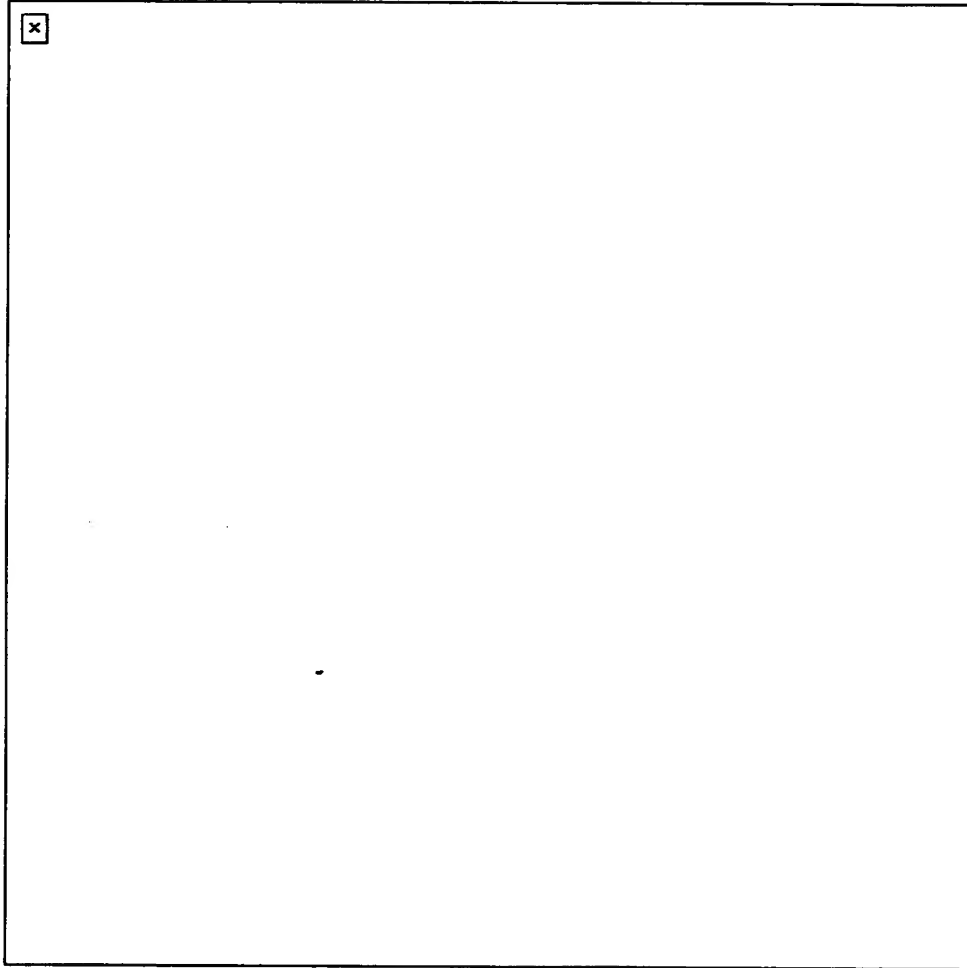


[Drawing 16]

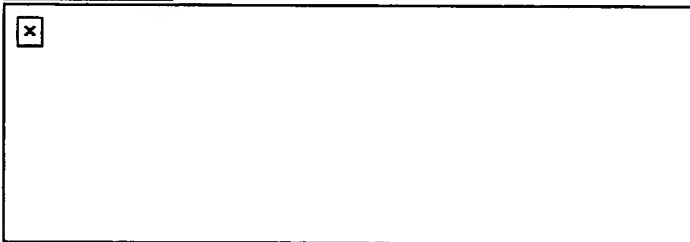




[Drawing 13]



[Drawing 14]



[Translation done.]

特開平5-106635

(43) 公開日 平成5年(1993)4月27日

(51) Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
F 1 6 C 32/00	C	8613-3 J		
17/10	A	8613-3 J		
32/04	Z	8613-3 J		
33/24	A	6814-3 J		

審査請求 未請求 請求項の数17(全 14 頁)

(21) 出願番号	特願平3-298841	(71) 出願人	000002130 住友電気工業株式会社 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
(22) 出願日	平成3年(1991)11月14日	(72) 発明者	小村 修 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友 電気工業株式会社伊丹製作所内
(31) 優先権主張番号	特願平3-78005	(72) 発明者	片山 哲也 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友 電気工業株式会社伊丹製作所内
(32) 優先日	平3(1991)4月10日	(72) 発明者	安岡 己雄 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友 電気工業株式会社伊丹製作所内
(33) 優先権主張国	日本 (J P)	(74) 代理人	弁理士 深見 久郎 (外4名)
(31) 優先権主張番号	特願平3-206771		
(32) 優先日	平3(1991)8月19日		
(33) 優先権主張国	日本 (J P)		
(31) 優先権主張番号	特願平3-84904		
(32) 優先日	平3(1991)4月17日		
(33) 優先権主張国	日本 (J P)		

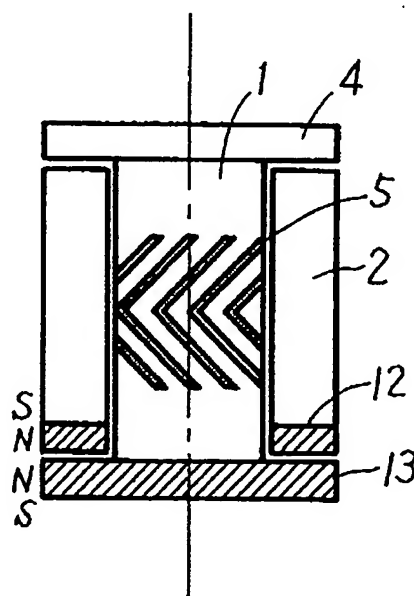
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 複合軸受構造

(57) 【要約】

【目的】 高速回転に耐え得る複合軸受構造を提供する。

【構成】 複合軸受構造は第1の軸受手段と第2の軸受手段と第3の軸受手段とを備える。第1の軸受手段は、回転中に回転体に加わるラジアル方向の衝撃力を支持し、窒化ケイ素系セラミックス焼結体からなる内輪1と外輪2とから構成される。第2の軸受手段は、回転体に加わる軸線方向の負荷荷重を回転体と所定の間隙を保った状態で支持し、スラスト方向に対向する2つの永久磁石12と13の磁気軸受体から構成される。第3の軸受手段は、回転体のラジアル方向の回転精度を維持し、内輪1の円筒面に形成されたラジアル動圧発生溝5から構成される。



1

2

【特許請求の範囲】

【請求項1】 所定の負荷を有し、高速度で回転する回転体を支持する複合軸受構造であって、回転中に前記回転体に加わるラジアル方向の衝撃力を支持するセラミックス焼結体を含む第1の軸受手段と、前記回転体に加わる軸線方向の負荷荷重を前記回転体と所定の間隙を保った状態で支持する第2の軸受手段と、前記回転体のラジアル方向の回転精度を維持する第3の軸受手段と、を備えた、複合軸受構造。

【請求項2】 前記セラミックス焼結体は、窒化ケイ素系セラミックス焼結体を含む、請求項1に記載の複合軸受構造。

【請求項3】 前記窒化ケイ素系セラミックス焼結体は、長さ30 $\mu$ mあたりの線密度が35個以上である結晶粒子を含み、その粒界相の体積率が15体積%以下であり、最大径が20 $\mu$ m以下の気孔を含み、その気孔の含有率が3%以下である窒化ケイ素系の焼結体を含む、請求項2に記載の複合軸受構造。

【請求項4】 前記第2の軸受手段は、前記回転体の回転によって発生する気体圧により前記負荷荷重を支持する動圧気体軸受手段を含む、請求項1に記載の複合軸受構造。

【請求項5】 前記動圧気体軸受手段は、前記回転体とともに回転する回転部材と、その回転部材に軸線方向に前記間隙を保って対向する固定部材とを含む、請求項4に記載の複合軸受構造。

【請求項6】 前記回転部材と前記固定部材はセラミックス焼結体を含み、前記回転部材および前記固定部材のいずれか一方には、前記気体圧が発生するように前記間隙に気体を導入する溝が形成されている、請求項5に記載の複合軸受構造。

【請求項7】 前記第2の軸受手段は、磁気の吸引力または反発力を利用して前記負荷荷重を支持する磁気軸受手段を含む、請求項1に記載の複合軸受構造。

【請求項8】 前記磁気軸受手段は、前記回転体とともに回転する回転部材と、その回転部材に軸線方向に前記間隙を保って対向する固定部材とを含む、請求項7に記載の複合軸受構造。

【請求項9】 前記回転部材と前記固定部材は、前記間隙に磁気の吸引力または反発力を発生させる磁石を含む、請求項8に記載の複合軸受構造。

【請求項10】 前記第3の軸受手段は、前記回転体と所定の間隙を保った状態で前記回転精度を維持するセラミックス焼結体を含む、請求項1に記載の複合軸受構造。

【請求項11】 前記第3の軸受手段は、前記回転体の回転によって発生する気体圧により前記回転精度を維持する動圧気体軸受手段を含む、請求項1に記載の複合軸受構造。

【請求項12】 前記動圧気体軸受手段は、前記回転体

とともに回転する回転部材と、その回転部材にラジアル方向に前記間隙を保って対向する固定部材とを含む、請求項11に記載の複合軸受構造。

【請求項13】 前記回転部材と前記固定部材はセラミックス焼結体を含み、前記回転部材および前記固定部材のいずれか一方には、前記気体圧が発生するように前記間隙に気体を導入する溝が形成されている、請求項12に記載の複合軸受構造。

【請求項14】 前記第3の軸受手段は、前記回転体と所定の間隙を保った状態で磁気の吸引力または反発力を利用して前記回転精度を維持する磁気軸受手段を含む、請求項1に記載の複合軸受構造。

【請求項15】 前記磁気軸受手段は、前記回転体とともに回転する回転部材と、その回転部材にラジアル方向に前記間隙を保って対向する固定部材とを含む、請求項14に記載の複合軸受構造。

【請求項16】 前記回転部材と前記固定部材は、前記間隙に磁気の吸引力または反発力を発生させる磁石を含む、請求項15に記載の複合軸受構造。

【請求項17】 前記回転部材と前記固定部材は前記セラミックス焼結体からなり、前記磁石は前記セラミックス焼結体の内部に埋込まれている、請求項16に記載の複合軸受構造。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 この発明は、一般的には軸受構造に関し、より特定のには所定の負荷を有し、高速度で回転する回転体を支持する複合軸受構造に関するものである。

【0002】

【従来の技術および発明が解決しようとする課題】 一般に、レーザプリンタ、ファクシミリ、バーコード読取装置等に設けられる回転駆動部を構成する部材には高速回転に耐え得るものが要求される。たとえば、印字速度の高速化に伴い、レーザプリンタにおけるポリゴンミラー（多面鏡）の回転装置には20000r. p. m. 以上の回転速度が要求されるようになってきた。従来、この回転装置における摺動部には、たとえば軸受部にはボールベアリングが用いられてきた。しかしながら、焼付、摩耗等の問題により、従来のボールベアリングを使用する限りにおいては、16000r. p. m. 程度が耐え得る上限の回転速度であった。

【0003】 レーザプリンタにおけるポリゴンミラーをさらに高速度で回転させるために、SiC、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>等のセラミックスからなる空気軸受（動圧気体軸受）を回転摺動部に用いることが特開平2-173610号公報において提案されている。この空気軸受を用いる回転装置においては、回転体が回転されると、少なくともラジアル軸受体またはスラスト軸受体と回転体との間のクリアランスへ溝を介して空気が強制的に導入される。こ

れにより、そのクリアランス内の空気圧が高められ、各  
部材間に設けられた空気軸受を介して回転体が高速度で  
回転される。このようにして、高速回転を実現するため  
に、空気軸受を用いて高速回転中の回転精度が維持さ  
れ、回転体に加わるスラスト方向の負荷荷重が空気軸受  
によって支持される。また、上記のラジアル軸受体と回  
転体はそれぞれセラミックス材料によって形成されてい  
るため、回転体の起動停止時における低速域での各部材  
間の摺動に耐え得る。

【0004】しかしながら、従来のSi、N<sub>4</sub>等のセラ  
ミックスによって形成されたラジアル軸受体を5000  
r. p. m. を越える高速回転で用いると、軸受部材同  
士の接触による衝撃を伴った叩き摩耗現象が発生する。  
すなわち、高速回転時において突発的なラジアル方向の  
衝撃力が回転体に加わると、高速域で各部材間の摺動が  
引き起こされる。従来のセラミックス焼結体はその高速  
摺動に耐えることが困難であった。したがって、上述の  
ようにラジアル軸受体またはスラスト軸受体をセラミッ  
クス焼結体からなる空気軸受体で構成したとしても、高  
速回転時の回転精度が維持され、回転体に加わるスラ  
スト方向の負荷荷重が支持されるが、高速回転時に回転  
体に突発的に加わるラジアル方向の衝撃力を支持するこ  
とは困難であった。

【0005】また、上記の空気軸受体をセラミックス材  
料から形成する場合、セラミックス部材に高い加工・組  
立精度を要求し、製造コストの上昇を招くという問題が  
あつた。さらに、空気軸受は埃の浸入を嫌うため、清浄な  
環境下で使用される必要がある。このことから、空気軸  
受は密閉容器に収納された形態で用いられるなど、空気  
軸受に伴う構造が複雑になり、収納空間が大きくなる等  
の欠点がある。このような問題点を解消するために、セラ  
ミックスによって形成されたブッシュタイプの滑り軸  
受体を高速回転用の軸受体として用いることが考えられ  
る。

【0006】図16は、従来のセラミックスによって形  
成されたブッシュタイプの滑り軸受体の概略構造を示す  
縦断面図である。このブッシュタイプの滑り軸受体は、  
2つのスラスト滑り軸受体81、82と、一対のラジアル  
滑り軸受体および回転体83、84とから構成される。  
このように構成されるブッシュタイプの滑り軸受体  
は、起動停止時における低速域での各部材間の摺動には  
耐え得る。しかしながら、上述のセラミックス製の空気  
軸受体と同様に、5000 r. p. m. を越える高速回  
転に伴う摺動においては、軸受部材同士の接触による衝  
撃を伴った叩き摩耗現象が発生する。そのため、従来の  
ブッシュタイプの滑り軸受体はその摺動に耐えることが  
困難であり、摺動面が荒れることにより、摩擦抵抗が増  
加するという欠点があった。特に、スラスト方向の荷重  
に対しては、この傾向が顕著である。同一の負荷荷重で  
比較すると、スラスト方向の摩擦抵抗はラジアル方向の

摩擦抵抗に比べて5~10倍大きい。したがって、高速  
回転用の軸受体としてセラミックス製のブッシュタイプ  
の滑り軸受体を用いたとしても、回転中の突発的なラジ  
アル方向の衝撃力を支持することが困難であるだけでなく、  
回転体に加わるスラスト方向の負荷荷重をも支持する  
ことが困難であるという問題点があった。

【0007】そこで、この発明は上記の問題点を解決す  
るためになされたもので、高速回転に耐え得る軸受体の  
構造を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段および発明の作用効果】こ  
の発明に従った複合軸受構造は、所定の負荷を有し、高  
速度で回転する回転体を支持するものであって、第1の  
軸受手段と、第2の軸受手段と、第3の軸受手段とを備  
える。第1の軸受手段は、回転中に回転体に加わるラジ  
アル方向の衝撃力を支持するセラミックス焼結体を含  
む。第2の軸受手段は、回転体に加わる軸線方向の負荷  
荷重を回転体と所定の間隙を保った状態で支持する。第  
3の軸受手段は、回転体のラジアル方向の回転精度を維  
持する。

【0009】この発明においては、高速度で回転する回  
転体に突発的なラジアル方向の衝撃力が加わったとして  
も、第1の軸受手段を構成するセラミックス焼結体がそ  
の衝撃力を支持し、高速域での摺動に耐え得る。また、  
回転体に加わる軸線（スラスト）方向の負荷荷重は、回  
転体との間でクリアランスを保った状態で第2の軸受手  
段によって支持される。そのため、回転体が高速度で回  
転しても、スラスト方向の荷重に対して生ずる摩擦抵抗  
が増加する割合が低減され得る。さらに、高速度で回転  
する回転体のラジアル方向の回転精度は第3の軸受手段  
によって維持される。このため、精密機械に要求される  
回転精度が長時間運転後においても維持され得る。

【0010】以上のように、この発明によれば、第1、  
第2および第3の軸受手段が備えられているので、高速  
回転中において突発的な衝撃力によって摩耗現象が発生  
せず、また回転体に加わるスラスト方向の荷重による摩  
擦抵抗の増加が抑制され、さらに長時間の回転におい  
ても回転精度が維持され得る。したがって、この発明によ  
れば、高速度で回転する回転体を支持するのに適した複  
合軸受体の構造が提供され得る。

【0011】この発明の好ましい第1の局面によれば、  
第1の軸受手段を構成するセラミックス焼結体は窒化ケ  
イ素系セラミックス焼結体を含む。また、この窒化ケイ  
素系セラミックス焼結体は、長さ30μm当たりの線密  
度が35個以上である結晶粒子を含み、その粒界相の体  
積率が15体積%以下である。さらに、その窒化ケイ素  
系の焼結体は、最大径が20μm以下の気孔を含み、そ  
の気孔の含有率が3%以下である。このような窒化ケイ  
素系焼結体は、少なくともJIS3点曲げ強度として8  
0kg/mm<sup>2</sup>以上、好ましくは100kg/mm<sup>2</sup>以

上、破壊靱性値として $5 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 以上の機械的特性を有している。

【0012】この発明の好ましい第1の局面においては、第1の軸受手段を構成する窒化ケイ素系の焼結体は、一定値以上の線密度を有する結晶粒子を含み、粒界相の体積率が一定値以下に抑えられており、また気孔率が一定値以下に抑えられている。そのため、微細な結晶粒を備えた窒化ケイ素系の焼結体から軸受部材が構成される。その結果、結晶粒子の脱落等によって、軸受部材を構成する窒化ケイ素系焼結体の表面が欠損することなく、耐チッピング性にも優れる。このように上記の窒化ケイ素系焼結体からなる軸受部材は、叩き摩耗現象を伴った高速摺動に対しても優れた耐摩耗性を備えている。したがって、高速回転中において回転体に加わる突発的なラジアル方向の衝撃力が上記の窒化ケイ素系焼結体によって支持され、そのとき引き起こされる高速摺動に対しても上記の窒化ケイ素系焼結体は優れた耐摩耗性を示す。

【0013】この発明の好ましい第2の局面においては、第2の軸受手段は、回転体の回転によって発生する気体圧により負荷荷重を支持する動圧気体軸受手段を含む。また、第2の軸受手段は、磁気の吸引力または反発力を利用して負荷荷重を支持する磁気軸受手段を含む。これらの動圧気体軸受手段と磁気軸受手段は、それぞれ、回転体とともに回転する回転部材と、回転部材に軸線方向に間隙を保って対向する固定部材とを含む。動圧気体軸受手段においては、回転部材と固定部材はセラミックス焼結体を含み、回転部材および固定部材のいずれか一方には、気体圧が発生するように間隙に気体を導入する溝が形成されている。磁気軸受手段においては、回転部材と固定部材は間隙に磁気の吸引力または反発力を発生させる磁石を含む。

【0014】この発明の第2の局面においては、軸受体の摩擦抵抗の増大に最も大きく寄与するスラスト方向の荷重が、動圧気体軸受手段によって、溝から間隙に導入された気体の圧力を用いて支持または軽減され得る。あるいは、そのスラスト方向の荷重が、磁気軸受手段によって、磁石の反発力または引力を用いて支持または軽減され得る。これにより、回転速度の増加に対して駆動トルクの上昇が極めて小さく抑えられ得る。特に第2の軸受手段を磁気軸受手段によって構成すると、動圧気体軸受手段に比べて、回転速度の増加に対する駆動トルクの上昇がより小さく抑えられる。

【0015】この発明の好ましい第3の局面によれば、第3の軸受手段は、回転体と所定の間隙を保った状態で

回転精度を維持するセラミックス焼結体を含む。この場合、その間隙をできるだけ狭めることにより、回転精度を向上させることが原理的に可能となる。

【0016】また、この発明のより好ましい第3の局面によれば、第3の軸受手段は、回転体の回転によって発生する気体圧により回転精度を維持する動圧気体軸受手段を含む。その動圧気体軸受手段は、回転体とともに回転する回転部材と、その回転部材にラジアル方向に間隙を保って対向する固定部材とを含む。回転部材と固定部材はセラミックス焼結体を含み、回転部材および固定部材のいずれか一方には、気体圧が発生するように間隙に気体を導入する溝が形成されている。このように第3の軸受手段として動圧気体軸受手段を用いる場合には、回転部材と固定部材との間の間隙（クリアランス）を比較的大きくしても、長時間の高速回転において回転精度が高い精度で維持され得る。

【0017】さらに、この発明のより好ましい第3の局面においては、第3の軸受手段は、回転体と所定の間隙を保った状態で磁気の吸引力または反発力を利用して回転精度を維持する磁気軸受手段を含む。その磁気軸受手段は、回転体とともに回転する回転部材と、その回転部材にラジアル方向に間隙を保って対向する固定部材とを含む。回転部材と固定部材は間隙に磁気の吸引力または反発力を発生させる磁石を含む。回転部材と固定部材はセラミックス焼結体からなり、磁石はセラミックス焼結体の内部に埋込まれている。このように第3の軸受手段として磁気軸受手段を用いた場合においても、回転部材と固定部材との間のクリアランスを比較的大きくした状態で高速回転を長時間続けたとしても、回転精度が高い精度で維持され得る。

【0018】以上説明したように、この発明によれば、高速度で回転する回転体を支持するのに適した種々の複合軸受体の構造が提供され得る。

【0019】

【実施例】この発明に従った複合軸受体の種々の構造例は表1に示される。表1には、ラジアル軸受手段とスラスト軸受手段の組合せとしてA～Hの構造例が示されている。各構造例はA～Hに対応して図1～図8にその概略的な構造が示されている。なお、構造例B、Hはこの発明の比較例を示している。以下、表1と各図（図1～図8）を参照して、複合軸受体の構造の実施例と比較例について順に説明する。

【0020】

【表1】

		ラ ジ ア ル			
		セラミックス 空気軸受	磁気軸受	磁気軸受+ セミガスファン	セラミックス プッシュ
ス ラ ス ト	セラミックス 空気軸受	A (図1)	B (図2)	C (図3)	D (図4)
	磁気軸受	E (図5)	—	F (図6)	G (図7)
	セラミックス 滑り軸受	—	—	—	H (図8)

## 【0021】構造例A

図1は、この発明の一実施例による複合軸受構造を概略的に示す概念図である。図1に示すように、複合軸受構造は、内輪1と外輪2と下部スラスト板3と上部スラスト板4とを備える。各部材1～4は窒化ケイ素系のセラミックス焼結体からなる。内輪1は所定の軸の外周面を包囲することができるように円筒形状を有する。内輪1の円筒面には複数のV字状のラジアル動圧発生溝5が形成されている。下部スラスト板3と上部スラスト板4は内輪1の両端面に接触するように設けられる。円筒形状の外輪2は、内輪1の円筒面と、下部スラスト板3および上部スラスト板4の内側面に対して所定のクリアランスを有するように設けられる。外輪2と下部スラスト板3とが互いに対向する面には複数の渦巻き状のスラスト動圧発生溝6が形成されている。なお、スラスト動圧発生溝6は外輪2と下部スラスト板3の両方に形成されているが、いずれか一方に形成されていてもよい。

【0022】上記のように構成された複合軸受体において、外輪2が回転体とともに回転するものとし、内輪1とスラスト板3、4とが所定の軸に固定されているものとする。このとき、回転体とともに外輪2が回転すると、ラジアル動圧発生溝5とスラスト動圧発生溝6に沿って空気が外輪2と内輪1との間、外輪2と下部スラスト板3との間に導入され、それぞれの間のクリアランスが一定に保たれる。これにより、空気軸受が構成される。回転体とともに回転する外輪2は各クリアランス内に発生する空気圧により、内輪1とスラスト板3、4とに接触することなく、高速度で回転され得る。

【0023】構造例Aによれば、ラジアル軸受とスラスト軸受の両者がセラミックス空気軸受から構成されている。そのため、ラジアル方向の回転精度はラジアル空気軸受によって維持され、スラスト方向の荷重はスラスト空気軸受によって支持される。また、それぞれの空気軸受を構成するセラミックス焼結体が後述の窒化ケイ素系焼結体によって形成されることにより、高

速回転中の突発的なラジアル方向の衝撃力がその窒化ケイ素系焼結体によって支持される。

## 【0024】構造例B

図2(A)は、この発明の比較例による複合軸受構造を概略的に示す概念図であり、図2(B)はその軸受構造に用いられる永久磁石の部分を拡大して示す図である。図2に示すように、この比較例の複合軸受体は、内輪1と外輪2と下部スラスト板3と上部スラスト板4とを備える。各部材1～4は窒化ケイ素系のセラミックス焼結体からなる基材を有する。内輪1は所定の軸の外周面を包囲することができるように円筒形状を有する。スラスト板3、4は内輪1の両端面に接触するように設けられる。外輪2は内輪1の円筒面とスラスト板3、4の内側面に対して所定のクリアランスを保つように設けられる。この構造例の場合、内輪1と外輪2とが互いに対向する円筒面には、それぞれ永久磁石7、8、9、10がリング状に配置されている。また、外輪2と下部スラスト板3とが対向する面には、渦巻き状のスラスト動圧発生溝6が形成されている。

【0025】上記のように構成された複合軸受体においては、外輪2が回転体とともに回転すると、スラスト動圧発生溝6にそって空気が外輪2と下部スラスト板3との間に導入され、その間のクリアランスが一定に保たれる。これにより空気軸受が構成される。一方、内輪1の永久磁石7(9)と外輪2の永久磁石8(10)は、図2(B)に示すように互いに同極同士が対向しているため、その反発力により、内輪1と外輪2との間のクリアランスを一定に保つ作用をする。

【0026】以上のようにして、構造例Bにおいては高速回転中のスラスト方向の荷重は空気軸受によって支持され、ラジアル方向の回転精度は磁気軸受によって維持される。しかしながら、高速回転中に突発的なラジアル方向の衝撃力が回転体に加わると、対向している永久磁石7(9)と8(10)とが接触してしまう。そのため、この構造はラジアル方向の衝撃力に対しては弱

い。

#### 【0027】構造例C

図3(A)(B)は、この発明の一実施例による複合軸受構造を概念的に示す概念図である。図3(A)に示すように、複合軸受は内輪1と外輪2とスラスト板3, 4とを備える。各部件1~4は主に窒化ケイ素系のセラミックス焼結体からなる。スラスト板3, 4は内輪1の両端面に接触するように設けられている。外輪2は内輪1の円筒面とスラスト板3, 4の内側面とに対して所定のクリアランスを保つように設けられている。この構造例の場合、内輪1と外輪2とが互に対向する円筒面には、それぞれ永久磁石7~10が設けられている。また、外輪2と下部スラスト板3とが対向する面には、スラスト動圧発生溝6が複数の渦巻き状の形で形成されている。内輪1と外輪2との間のクリアランスは、それぞれの部件を構成するセラミックス焼結体の間の第1のクリアランスと、永久磁石7(9)と8(10)の間の第2のクリアランスとから構成される。第2のクリアランスは第1のクリアランスよりも大きい。

【0028】上記のように構成された複合軸受において、回転体とともに外輪2が回転すると、スラスト動圧発生溝6に沿って空気が外輪2と下部スラスト板3との間に導入され、その間のクリアランスが一定に保たれて、スラスト空気軸受が構成される。また、ラジアル方向においては、永久磁石7(9)と8(10)との間で生じる反発力によって一定のクリアランスが保たれることにより、高速回転中における回転精度が維持される。このとき、回転体にラジアル方向の突発的な衝撃力が加わったとしても、内輪1と外輪2とは永久磁石間で接触することなく、高強度の窒化ケイ素系焼結体の間で接触する。そのため、高速回転に伴う摺動において内輪1と外輪2との接触による衝撃を伴った叩き摩耗現象が発生することはない。

【0029】以上のように、構造例Cにおいてはラジアル方向の回転精度が維持され、スラスト方向の荷重が支持されるだけでなく、ラジアル方向の突発的な衝撃力に対しても耐えることが可能な複合軸受構造が提供される。

【0030】構造例Cの別のタイプが図3(B)に示される。図3(A)に示される構造と異なる点は、内輪1の内部に永久磁石11が埋込まれており、外輪2の外周円筒面側に永久磁石8, 10が設けられていることである。この場合、永久磁石8(10)と11とは、それぞれ内輪1と外輪2を構成するセラミックス焼結体を介して反発力を発生させる。このとき、内輪1と外輪2との間のクリアランスは、所定の回転精度を維持するために必要な磁石間の反発力を考慮して設定される。

#### 【0031】構造例D

図4は、この発明の一実施例による複合軸受構造を概念的に示す概念図である。図4に示すように、複合軸受

は内輪1と外輪2とスラスト板3, 4とを備える。各部件1~4は窒化ケイ素系のセラミックス焼結体からなる。内輪1は所定の軸の外周面を包囲することができるように円筒形状を有する。スラスト板3, 4は内輪1の両端面に接触するように設けられる。外輪2はスラスト板3, 4と内輪1のそれぞれに対して所定のクリアランスを保つように設けられる。外輪2と下部スラスト板3とが対向する面には、渦巻き状のスラスト動圧発生溝6が形成されている。内輪1と外輪2との間のクリアランスは、高速回転中において所定の回転精度を維持することができるように微小な値に設定される。このようにして、スラスト方向の荷重は、上記のように構成される空気軸受によって支持され、ラジアル方向の回転精度は内輪1と外輪2との間の微小なクリアランスによって維持される。また、高速回転中の突発的なラジアル方向の衝撃力は、内輪1と外輪2を構成する高強度の窒化ケイ素系セラミックス焼結体によって支持される。

#### 【0032】構造例E

図5は、この発明の一実施例による複合軸受の構造を概念的に示す概念図である。図5に示すように、複合軸受は内輪1と外輪2と下部スラスト板13と上部スラスト板4とを備える。内輪1と外輪2と上部スラスト板4とは窒化ケイ素系のセラミックス焼結体から主に構成される。内輪1は所定の軸の外周面を包囲することができるように円筒形状を有する。内輪1の円筒面には複数のV字状のラジアル動圧発生溝5が形成されている。下部スラスト板13は永久磁石からなる。下部スラスト板13に対向する外輪2の面にはリング状の永久磁石12が設けられている。

【0033】このようにして構成される複合軸受において、回転体とともに外輪2が回転すると、ラジアル動圧発生溝5に沿って空気が内輪1と外輪2との間に導入され、その間のクリアランスが一定に保たれる。これにより、空気軸受が構成されるので、ラジアル方向の回転精度が維持される。また、外輪2の永久磁石12と下部スラスト板(永久磁石)13とが反発力を発生させるので、所定のクリアランスが外輪2と下部スラスト板13との間に保たれる。これにより、高速回転中におけるスラスト荷重が支持される。さらに、内輪1と外輪2は高強度の窒化ケイ素系焼結体から構成されているので、高速回転中において突発的な衝撃力が加わって、内輪1が外輪2に接触しても、叩き摩耗現象が発生することはない。

【0034】以上のように、構造例Eによれば、高速回転中において回転精度が維持され、スラスト方向の荷重が支持されるとともに、高速回転中における衝撃力に対しても耐えることが可能な複合軸受が提供される。

#### 【0035】構造例F

図6(A)(B)は、この発明の一実施例による複合軸受の構造を概念的に示す概念図である。図6(A)に



示すように、複合軸受体は内輪1と外輪2とスラスト板3、4とを備える。各部材1~4は窒化ケイ素系のセラミックス焼結体から主に構成されている。構造例C(図3(A))と異なる点は、スラスト方向の軸受体の構造である。外輪2と下部スラスト板3とが対向する面には永久磁石15と16が設けられている。永久磁石15は、内輪1の永久磁石14にも対向するように設けられている。このようにして、スラスト方向の荷重も磁気軸受体によって支持されている。この構造例Fによれば、ラジアル方向の回転精度が磁気軸受体によって維持され、スラスト方向の荷重が磁気軸受体によって支持され、ラジアル方向の衝撃力が高強度のセラミックス焼結体によって支持される。

【0036】図6(B)は構造例Fの別のタイプを示す。構造例C(図3(B))と異なる点は、スラスト方向の荷重が空気軸受体によって支持されず、磁気軸受体によって支持されることである。すなわち、下部スラスト板3の永久磁石17は、外輪2の永久磁石10に対向するように設けられている。

#### 【0037】構造例G

図7(A)(B)は、この発明の一実施例による複合軸受体の構造を概念的に示す概念図である。図7(A)に示すように、複合軸受体は内輪1と外輪2と下部スラスト板13と上部スラスト板4とを備える。内輪1と外輪2と上部スラスト板4とは窒化ケイ素系のセラミックス焼結体から主に構成される。内輪1は所定の軸の外周面を包囲することができるよう円筒形状を有する。スラスト板13、4は内輪1の両端面に接触するように設けられる。下部スラスト板13は永久磁石からなる。下部スラスト板13と対向する外輪2の面には永久磁石12が設けられている。内輪1と外輪2との間のクリアランスは、高速回転中において所定の回転精度を維持することができるよう微小な値に設定される。このようにして、スラスト方向の荷重が、永久磁石12と下部スラスト板(永久磁石)13とによって発生する反発力によって支持されるとともに、ラジアル方向の衝撃力は、内輪1と外輪2を構成する高強度の窒化ケイ素系焼結体によって支持される。

【0038】これに対して、図7(B)に示すように、永久磁石からなる上部スラスト板19と、それに対向する外輪2の面に永久磁石18を備えた複合軸受体においては、内輪1と外輪2との間のクリアランスを、図7(A)の複合軸受体よりも大きな値に設定しても、高速回転中における所定の回転精度を維持することができる。これは外輪2の上下を磁気軸受によって保持することにより、高速回転中の外輪2の倒れを抑制できるためである。

#### 【0039】構造例H

図8は、この発明の比較例による複合軸受体の構造を概念的に示す概念図である。図8に示すように、複合軸受

体は内輪1'と外輪2'とスラスト板3、4とを備える。各部材1~4は窒化ケイ素系のセラミックス焼結体からなる。内輪1は所定の軸の外周面を包囲することができるよう円筒形状を有する。スラスト板3、4は内輪1の両端面に接触するように設けられる。外輪2は内輪1とスラスト板3、4に対して所定のクリアランスを保つように設けられる。このようにして構成された複合軸受体によれば、高速回転中のラジアル回転精度は内輪1と外輪2との間のクリアランスを微小な値に設定することによって維持される。また、内輪1と外輪2を構成する高強度の窒化ケイ素系のセラミックス焼結体によって、高速回転中の突発的な衝撃力が支持される。しかしながら、スラスト方向の荷重をスラスト板3、4によって高速回転中において支持することは困難である。

【0040】以上の構造例A~Hについてまとめると、スラスト方向の荷重の支持構造に関しては、構造例A~Dの空気軸受体に比べて、構造例E~Gの磁気軸受体の方が構造の簡略化を図ることが可能である。また、スラスト方向の荷重を空気軸受体によって支持する場合には、揚力を確保するために一定面積が必要となる。さらに、空気軸受体によれば、一定回転数以上にならないと、揚力が発生しないのに対し、磁気軸受体によれば回転の開始から揚力を発生させることができる。

【0041】ラジアル方向の回転精度を向上させるための手段としては、ラジアル軸受体を空気軸受体とする(構造例A、E)か、磁気軸受体を併用する(構造例B、C、F)のが有効である。プッシュタイプの滑り軸受体を採用しても、内輪と外輪のクリアランス(ギャップ)を微小な値に設定することにより、回転精度を向上させることは可能である(構造例D、G、H)。

【0042】ラジアル方向の耐衝撃性に関しては、ラジアル軸受体にセラミックス焼結体を用いない構造例B以外のすべての構造例が満足し得る。構造例B以外は、高速回転中に衝撃力が加わり、内輪と外輪が接触しても焼付くことはない。特に高強度の窒化ケイ素系セラミックス焼結体を使用した場合には、欠け、チッピングが発生しないため、良好な軸受特性が維持され得る。

【0043】次に、この発明の一実施例の複合軸受構造においてラジアル方向の耐衝撃部材の材料として窒化ケイ素系の焼結体の製造方法について説明する。

【0044】平均粒径が $0.3\mu\text{m}$ 、粒度分布が $3\sigma=0.20\mu\text{m}$ 、 $\alpha$ 結晶化率が96.5%、酸素量が1.4重量%であるSi、N<sub>4</sub>の原料粉末を準備した。このSi、N<sub>4</sub>の原料粉末を92重量%、平均粒径が $0.8\mu\text{m}$ のY<sub>2</sub>O<sub>3</sub>粉末を4重量%、平均粒径が $0.5\mu\text{m}$ のAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>粉末を3重量%、平均粒径が $1.0\mu\text{m}$ のAlN粉末を1重量%の割合で、エタノール中で100時間ボールミルを用いて湿式混合した。その後、乾燥して得られた混合粉末を $5000\text{kg}/\text{cm}^2$ の圧力でCIP(冷間静水圧)成形した。得られた成形体を1気圧

の窒素ガス雰囲気下で温度1600℃において4時間保持した。さらに、温度1750℃において6時間、焼結処理を施すことにより焼結体を得た。その後、この焼結体に温度1700℃において1000気圧の窒素ガス雰囲気中で2時間のHIP（熱間静水圧）処理を施した。

【0045】このようにして得られた窒化ケイ素系の焼結体において、平均長軸粒径は5μm以下であり、その結晶粒のアスペクト比は4以上、最大の長軸粒径は15μm以下であった。この焼結体はJIS3点曲げ強度80kg/mm<sup>2</sup>以上、破壊靱性値5MPa・m<sup>1/2</sup>以上の機械的特性を有していた。得られた焼結体からテストピースを切出し、アムスラー式摩耗試験に従って耐摩耗性を評価した。

【0046】図9（A）は、サンプルに加えられる荷重と回転速度の積（P・V）と摩耗率との関係を示すグラフである。図9において各曲線a～eは以下のサンプルによって得られた測定結果を示す。

【0047】a：本発明例

上記の製造方法によって得られた窒化ケイ素系の焼結体で、長さ30μmあたりの結晶粒子の線密度が40個、粒界相の体積率が8体積%、気孔率が0.05%、気孔の最大径が8μmであるもの。

【0048】b：比較例

上記の製造方法によって得られた窒化ケイ素系の焼結体で、長さ30μmあたりの結晶粒子の線密度が30個、粒界相の体積率が16体積%、気孔率が3.2%、気孔の最大径が2μmであるもの。

【0049】c, d, e：従来例

窯業協会誌、1985年第93巻第73頁～第80頁（特にFig. 3）に示された窒化ケイ素系の焼結体のサンプル。

【0050】なお、アムスラー式摩耗試験は、2個のリング状サンプル（φ16mm×φ30mm×8mm）を互いの円周面が正確に接触している状態で試験機の回転軸に固定し、所定の荷重を加え、その回転軸を所定の回転数で駆動させることにより、約100000回転の摺動試験を行なった後、2個の試料の重量の減少度合いを測定することにより行なわれた。

【0051】図9の（A）から明らかなように、この発明に従った焼結体は耐摩耗性に極めて優れている。図9におけるP・V（kg・m/s）の値を摺動面の単位面積当たりに換算すると、図9の（B）に示されるようになる。

【0052】以上のようにして作製された焼結体が、たとえばレーザープリンタ用の回転多面鏡の高速回転における摺動にさらされる場合について考えてみる。多面鏡（ポリゴンミラー）の大きさは、φ30～150mm程度の外接円筒内に入る多面体（6～20面体）で厚み10mm程度である。そのようなポリゴンミラーの重量は約20～500gの範囲内である。したがって、上記の

ポリゴンミラーを支持する軸受体の直径を10mmとし、ポリゴンミラーの回転数を2000～100000r. p. m. とすると、その周速は100～5200cm/sとなる。このとき、軸受面積を3.14cm<sup>2</sup>とすると、P・V（kg/cm・s）の値は1～828kg/cm・sとなる。この範囲内のP・Vの値に対して、図9の（B）を参照してみる。本発明の焼結体は1～600kg/cm・sの広範囲のP・Vの値に対して低い摩耗率を示し、上記のポリゴンミラーの高速回転における摺動に対しては十分耐えることができる。

【0053】すなわち、上記の例では、高速回転中、常に焼結体が摺動している場合について考えている。その場合においても、本発明の焼結体は広範囲のP・Vの値に対して低い摩耗率を示すので、たとえ高速回転中にいて突発的な衝撃力が加わり、高速回転に伴う摺動が引き起こされても、本発明の焼結体はその摺動に十分耐え得る。

【0054】次に、上述の構造例G、D、Hの各場合について所定の試験機を用いて軸受性能を評価した。

【0055】図10は、構造例Gのために用いられた軸受性能評価試験機の構成を示す概略図である。10mmの内径を有するように上記の窒化ケイ素系の焼結体からなる内輪50を作製する。この内輪50は回転体200とともに回転するように設けられる。外輪100は、上記の窒化ケイ素系の焼結体からなり、内輪50に対して所定のクリアランスを保って受けるように設けられる。また、回転体200の上部には、フェライト磁石の反発力を利用して構成される磁気軸受500が装着される。

【0056】図11は、構造例Dのために用いられた軸受性能評価試験機の構成を示す概略図である。10mmの内径を有するように上記の窒化ケイ素系焼結体からなる内輪1000を作製する。この内輪1000は回転体200とともに回転するように設けられる。外輪1100は、内輪1000に対して所定のクリアランスを保つように設けられる。外輪1100は上記の窒化ケイ素系の焼結体から作製される。外輪1100の下には窒化ケイ素系のセラミックス焼結体からなるスラスト板900が設けられている。このスラスト板900に対向する内輪1000の面には渦巻き状の動圧発生溝1200が形成されている。

【0057】図12は、構造例Hのために用いられた軸受性能評価試験機の構成を示す概略図である。10mmの内径を有するように上記の窒化ケイ素系のセラミックス焼結体からなる内輪700が作製される。この内輪700は回転体200とともに回転するように設けられる。外輪800は、上記の窒化ケイ素系の焼結体からなり、内輪700に対して所定のクリアランスを保つように設けられる。外輪800の下には、窒化ケイ素系のセラミックス焼結体からなるスラスト板600が設けられ

る。スラスト板600と内輪700の間には所定のクリアランスが設けられる。

【0058】以上のように構成される各軸受性能評価試験機を用いて、モータ300によって回転体200の回転数を設定値まで到達させた後、その設定回転数で10分間保持した。その後、トルク計400を用いて駆動トルクを測定した。

【0059】図13は、複合軸受体の構造例G、D、Hによって支持される回転体の回転数 $[r.p.m.]$

(または内輪の内周面における周速 $[m/sec]$ )と駆動トルク $[g \cdot cm]$ との関係を上記の測定結果に基づいて示すグラフである。構造例Gの複合軸受体を用いた測定結果は●で示されている。構造例Dの複合軸受体を用いた結果は△で示されている。構造例Hの複合軸受体を用いた測定結果は○で示されている。図13から明らかなように、回転数(周速)の増加率に対する駆動トルクの増加率の比は、構造例Gの場合が一番小さく、構造例D、構造例Hの順に小さい。

【0060】以上の測定結果から、本発明の複合軸受体の構造において、スラスト方向の軸受体として磁気軸受体を採用すれば、回転速度の増加に対して駆動トルクの上昇を極めて小さく抑えることが可能になる。すなわち、軸受体の摩擦抵抗の増大に最も大きく寄与するスラスト方向の荷重は磁気軸受体によって支持されるのが最も好ましい。

【0061】次に、この発明の複合軸受構造の用途の一例として、レーザプリンタ用の回転多面鏡の軸受を挙げることができる。以下、レーザプリンタに使用される回転多面鏡について説明する。

【0062】図14は、レーザプリンタに用いられる回転多面鏡の一実施例を概略的に示す図である。図14に示すように、モータ20のフレーム20aには支軸21が設けられている。その支軸21の外周には、上述の窒化ケイ素系の焼結体からなる円筒状の内輪22が取付けられている。また、この内輪22の上下両側に位置するように、支軸21の基端と先端には上記の窒化ケイ素系の焼結体(または永久磁石)からなる平板状のスラスト板23、24がそれぞれ取付けられている。回転多面鏡30の軸支部分を構成する回転体としての外輪25は、同様に上記の窒化ケイ素系の焼結体によってリング状に

形成されている。このようにして、各部材22、23、24、25から、各構造例A、C、D、E、F、Gに対応する複合軸受構造が構成される。外輪25の外周にはアルミニウム製の反射棒27が取付けられている。内輪22と外輪25との間、2つのスラスト板23、24と外輪25との間には、所定のクリアランスが設けられる。また、反射棒27の外周には、内輪22を中心として多面体(たとえば八面体)を構成する複数のミラー面27aが形成されている。フレーム20aの底壁面の上においては、支軸21を中心とする円周上に複数のコイル28が配列されている。これらのコイル28に対向するように、反射棒27の内側面に複数の永久磁石29が配列されている。外輪25と反射棒27とにより、駆動モータ20のロータが構成されている。

【0063】図14に示された回転多面鏡に本発明の複合軸受体として、構造例E、F、Gを用いた場合の性能評価結果は、それぞれ表2、表3、表4に示される。

【0064】各表において、定常時電流は多面鏡(ポリゴンミラー)が定常回転に至ったときの駆動モータの電流の測定値を示し、駆動トルクに相当する値である。

【0065】回転中のポリゴンミラーの振れ具合を評価するために、ミラー面の倒れ角度を測定した。各表に示される面倒れ角度は、すべてのミラー面を対象にしてその最大振れ幅を測定した値である。

【0066】なお、構造例Eにおいては、図5に示されるように、内輪1の外径は $\phi 20\text{mm}$ であり、その長さは $30\text{mm}$ である。内輪1と外輪2との間のクリアランスは $60\mu\text{m}$ である。

【0067】また、構造例Fについては、図6(A)に示されるように、内輪1の外径は $\phi 20\text{mm}$ (窒化ケイ素系のセラミックス焼結体から構成される部分の外径)であり、その長さは $30\text{mm}$ である。内輪1と外輪2との間のクリアランスは $40\mu\text{m}$ である。

【0068】構造例Gにおいては、図7に示されるように、内輪1の外径は $\phi 20\text{mm}$ であり、その長さは $30\text{mm}$ である。内輪1と外輪2との間のクリアランスは $2.5\mu\text{m}$ である。

【0069】

【表2】

回転数 (r. p. m. )	定常時電流 (A)	面倒れ角度 (秒)	
		初 期	10.000時間運転後
5, 000	0. 61	5. 2	5. 2
10, 000	1. 03	5. 5	5. 5
20, 000	2. 10	5. 8	5. 8
30, 000	3. 05	6. 0	6. 0
50, 000	4. 85	10. 5	10. 9
70, 000	6. 67	14. 7	15. 5
100, 000	9. 30	20. 1	21. 6

【0070】

20 【表3】

回転数 (r. p. m. )	定常時電流 (A)	面倒れ角度 (秒)	
		初 期	10.000時間運転後
5, 000	0. 42	3. 1	3. 1
10, 000	0. 71	3. 8	3. 8
20, 000	1. 40	4. 7	4. 7
30, 000	2. 05	6. 1	6. 1
50, 000	3. 28	10. 3	10. 8
70, 000	4. 48	14. 1	14. 6
100, 000	6. 25	18. 5	19. 2

【0071】

40 【表4】

回転数 (r. p. m. )	定常時電流 (A)	面倒れ角度 (秒)	
		初 期	10,000時間運転後
5, 000	0. 41	2. 9	3. 1
10, 000	0. 69	3. 5	3. 8
20, 000	1. 38	4. 9	5. 4
30, 000	2. 02	6. 2	6. 8
50, 000	3. 26	9. 8	11. 7
70, 000	4. 46	11. 4	13. 8
100, 000	6. 20	15. 3	19. 3

【0072】構造例E, F, Gのいずれもが、回転数100000 r. p. mで10000時間運転後においてもミラーの面倒れ角度は1分の範囲内に抑えられている。以上の結果から、本発明の複合軸受体を用いたポリゴンミラー回転装置は、高速回転を長時間行なっても非常に優れた回転精度を有する。

【0073】また、表2～表4を参照すると、構造例E, F, Gのいずれの軸受構造を採用しても、ほぼ同程度の面倒れ角度の値が得られている。しかしながら、構造例G(表4)を採用する場合には、上記のように内輪と外輪との間のクリアランスを微小な値に設定する必要がある。これに対して、構造例EとF(表2と表3)を採用する場合には、内輪と外輪との間のクリアランスを上記のように比較的大きな値に設定することができる。

【0074】図15は、この発明の複合軸受構造が用いられるポリゴンミラー回転装置のもう1つの例を概念的に示す図である。ケース51の軸芯には回転軸52が設けられている。この回転軸52は、上述の構造例A, C, D, E, F, Gのいずれかの複合軸受53によって回転自在に支持されている。複合軸受53は、内輪60とスラスト板61, 62と外輪63とから構成されている。複合軸受53の外輪63にロータ54が取付けられている。ケース51には窓57が設けられている。この窓57に対向するように多面鏡56が取付けられている。多面鏡56は回転軸52の上部に取付けられている。

【0075】なお、本発明の複合軸受体の実施例として、回転多面鏡の軸受体を示したが、これに限定されることはない。たとえば、80000～150000 r. p. m. の高速度で回転する過給機用タービン軸受、20000～30000 r. p. m. の高速度で回転する

タービン、コンプレッサ用の軸受、ロケットエンジン用ターボポンプに用いられる高速回転用軸受、CNC超精密旋盤、円筒加工用超精密旋盤、超精密平面研削盤等の工作機械に用いられる軸受等にも本発明の複合軸受体は適合され得る。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の複合軸受体の構造例Aを概念的に示す概念図である。

【図2】この発明の比較例による複合軸受体の構造を概念的に示す概念図(A)と、その構造に用いられる永久磁石の部分拡大して示す拡大図(B)である。

【図3】この発明の複合軸受体の構造例Cの2つのタイプ(A)と(B)を概念的に示す概念図である。

【図4】この発明の複合軸受体の構造例Dを概念的に示す概念図である。

【図5】この発明の複合軸受体の構造例Eを概念的に示す概念図である。

【図6】この発明の複合軸受体の構造例Fの2つのタイプ(A)と(B)を概念的に示す概念図である。

【図7】この発明の複合軸受体の構造例Gの2つのタイプ(A)と(B)を概念的に示す概念図である。

【図8】この発明の複合軸受体の構造例Hを概念的に示す概念図である。

【図9】この発明の複合軸受構造においてラジアル方向の耐衝撃部材を構成する焼結体の摩耗率とP・Vの値との関係を従来例、比較例とともに示すグラフ(A)と(B)である。

【図10】この発明の複合軸受体の構造例Gの軸受性能を評価するために用いられる試験機の構成を示す概略図である。

【図11】この発明の複合軸受体の構造例Dの軸受性能

を評価するために用いられる試験機の構成を示す概略図である。

【図12】この発明の比較例としての複合軸受体の構造例Hの軸受性能を評価するために用いられる試験機の構成を示す概略図である。

【図13】この発明の複合軸受体の性能の一実施例として、回転数と駆動トルクとの関係を示すグラフである。

【図14】この発明の複合軸受構造が用いられるポリゴンミラーの回転装置の一実施例を概略的に示す構成図である。

【図15】この発明の複合軸受構造が用いられるポリゴンミラーの回転装置のもう1つの実施例を概略的に示す

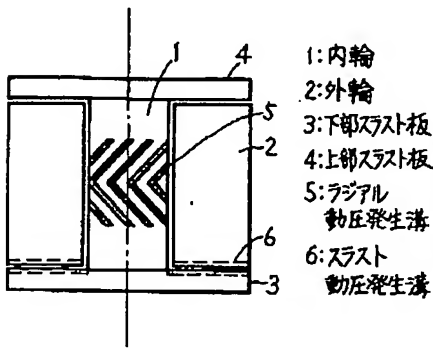
構成図である。

【図16】従来のブッシュタイプの滑り軸受体の構成を概略的に示す縦断面図である。

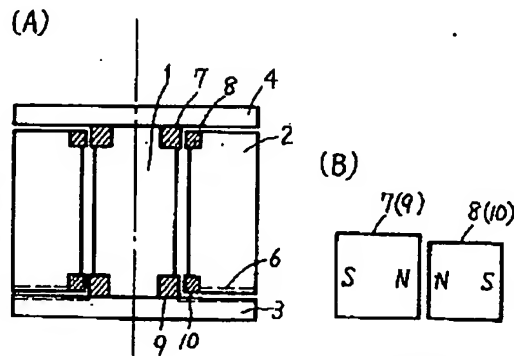
【符号の説明】

- 1 内輪
- 2 外輪
- 3 下部スラスト板
- 4 上部スラスト板
- 5 ラジアル動圧発生溝
- 6 スラスト動圧発生溝
- 7 永久磁石
- 8 永久磁石
- 9 永久磁石
- 10 永久磁石
- 11 永久磁石
- 12 永久磁石
- 13 永久磁石
- 14 永久磁石
- 15 永久磁石
- 16 永久磁石
- 17 永久磁石
- 18 永久磁石
- 19 永久磁石

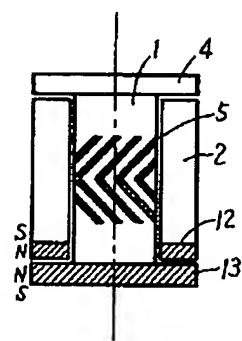
【図1】



【図2】

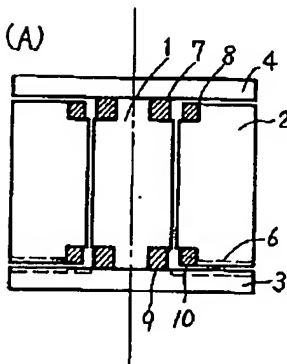


【図5】

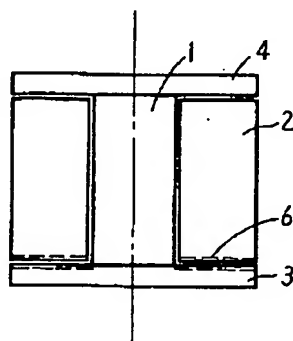


7~19: 永久磁石

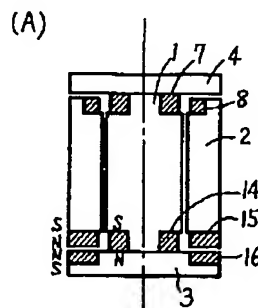
【図3】



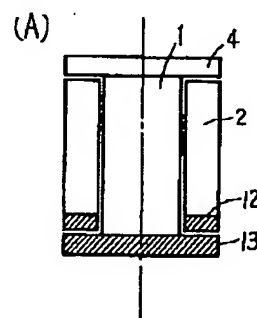
【図4】



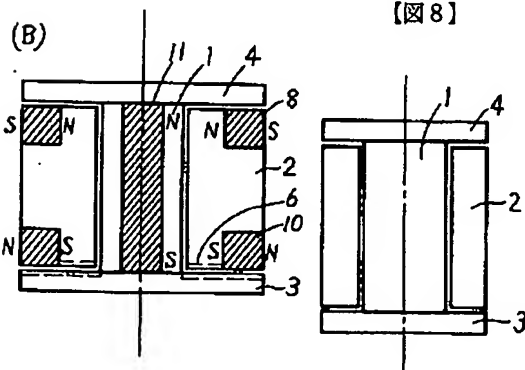
【図6】



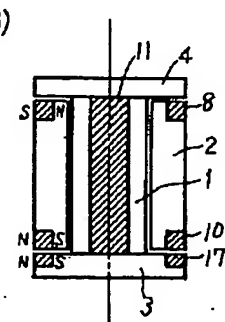
【図7】



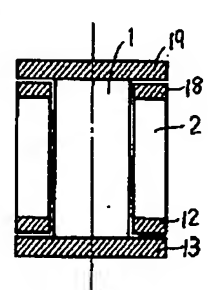
【図8】



(B)

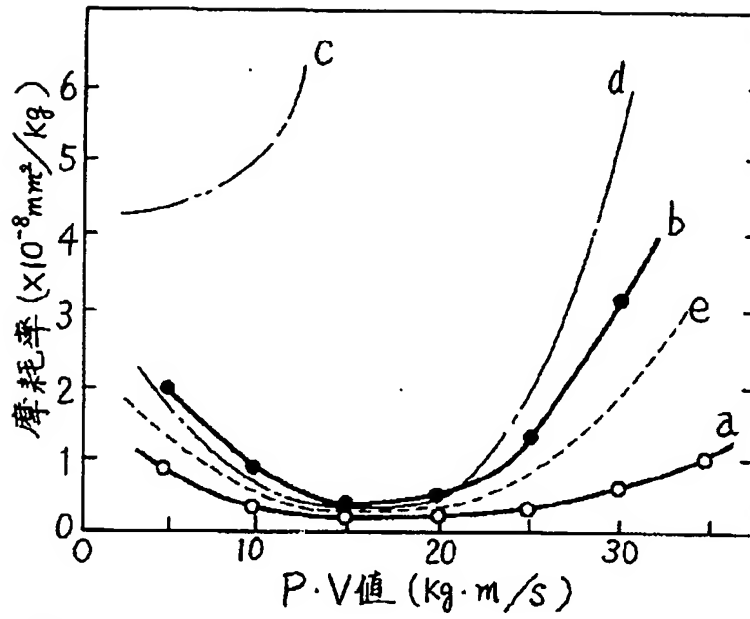


(B)

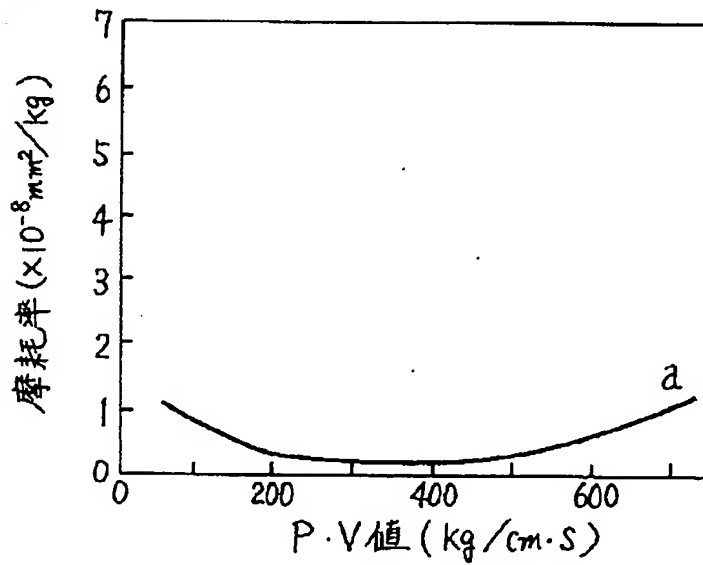


【図9】

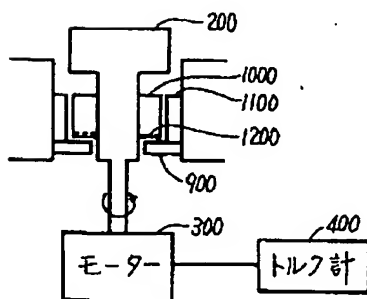
(A)



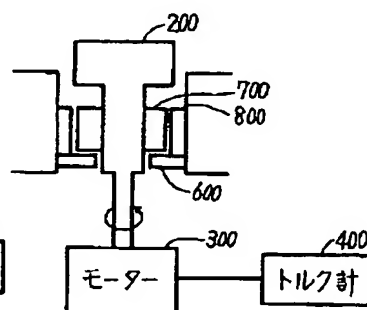
(B)



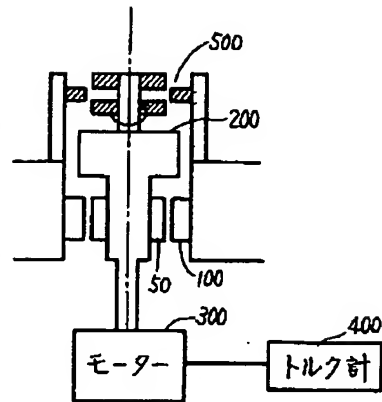
【図11】



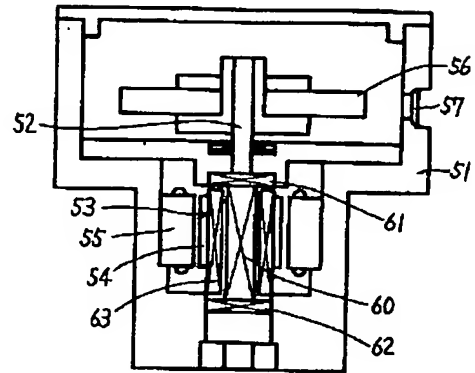
【図12】



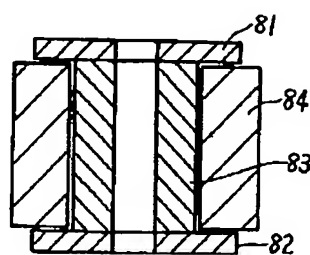
【図10】



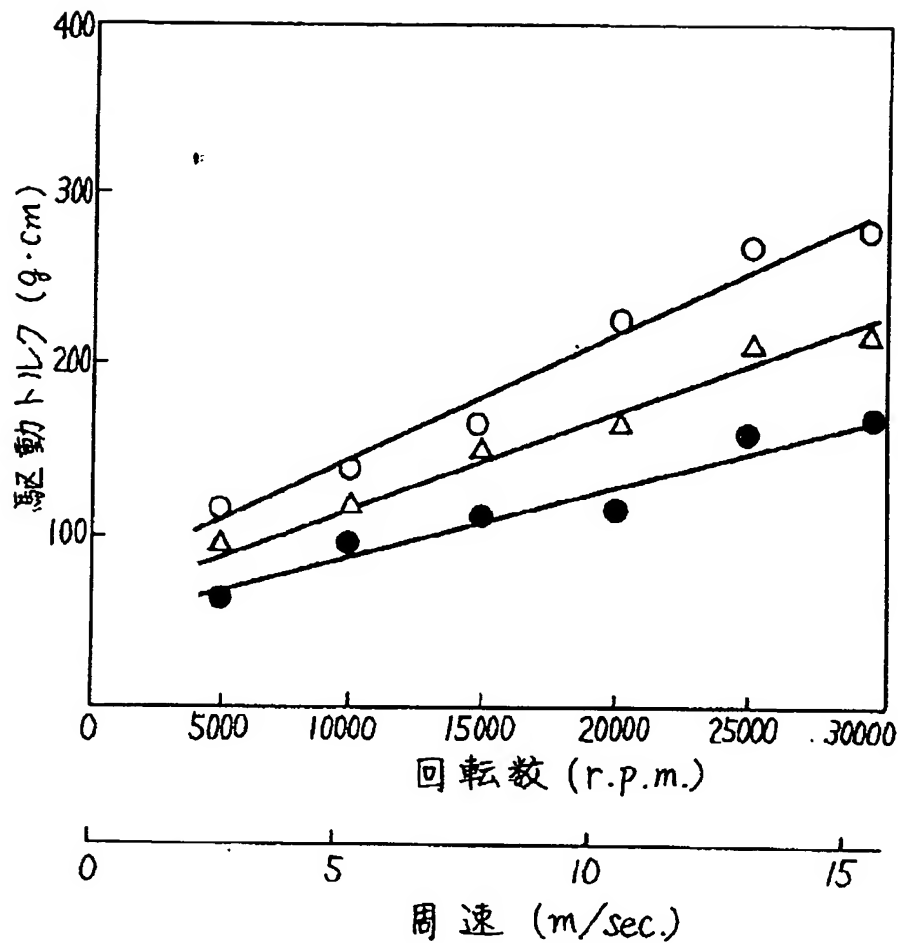
【図15】



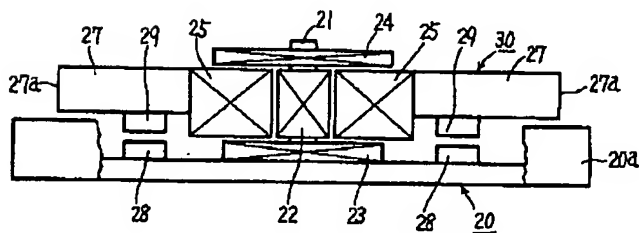
【図16】



【図13】



【図14】



フロントページの続き

(72)発明者 山川 晃

兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友  
電気工業株式会社伊丹製作所内

(72)発明者 松沼 健二

兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友  
電気工業株式会社伊丹製作所内

(72)発明者 樋口 松夫

兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友  
電気工業株式会社伊丹製作所内

(72)発明者 三宅 雅也

兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友  
電気工業株式会社伊丹製作所内